

## AGRESYWNOŚĆ WÓD POWIERZCHNIOWYCH I PODZIEMNYCH ZLEWNI BIAŁEGO POTOKU (TATRY ZACHODNIE)

### AGGRESSIVENESS OF SURFACE AND GROUND WATER OF THE BIAŁY STREAM BASIN (WEST TATRA MTS.)

MARZENA SZOSTAKIEWICZ-HOŁOWNIA<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Agresywność wód to ich właściwość powodująca niszczenie skał. W konsekwencji jest ona jednym z czynników modelujących powierzchnię Ziemi. Ponadto warunkując rozpuszczanie ośrodka skalnego istotnie wpływa na właściwości fizykochemiczne i skład jonowy wód powierzchniowych i podziemnych. W artykule przedstawiono wyniki oceny agresywności wód opadowych powierzchniowych i podziemnych zlewni potoku Białego. Badany obszar jest zbudowany głównie ze skał węglanowych (dolomitów i wapieni). Do oceny agresywności badanych wód wykorzystano twardość ogólną, indeks Langeliera oraz wskaźnik nasycenia wód względem węglanu wapnia obliczony programem PHREEQC.

**Słowa kluczowe:** agresywność wód, model geochemiczny, Tatry Zachodnie.

**Abstract.** Aggressiveness is the property of water, which causes destruction of rocks. The aggressiveness is also one of the major factors controlling the Earth surface and chemical composition of water. The paper presents the results of estimation of aggressiveness of precipitation, surface and ground waters. The study area (Biały Stream Basin) is composed mainly of carbonates. The amount of aggressiveness was estimated using the hardness of water, Langelier Saturation Index and SI values calculated by PHREEQC.

**Key words:** water aggressiveness, geochemical model, West Tatra Mts.

### WSTĘP

Agresywność wód jest definiowana jako właściwość powodująca niszczenie skał. Może ją wywoływać nadmiar lub niedomiar składników chemicznych wód, zaburzający stan równowagi faza ciekła–faza stała. Efektem tego procesu jest rozpuszczanie ośrodka skalnego (Małecki, 1998; Dowgiałło i in., red., 2002; Macioszczyk, Dobrzyński, 2002).

Agresywność wód i jej zmiany na drodze filtracji mają wpływ na kształtowanie właściwości fizykochemicznych

wód powierzchniowych i podziemnych oraz morfologii terenu, zwłaszcza w obszarach zbudowanych ze skał podatnych na rozpuszczanie.

W artykule przedstawiono wyniki prac nad oceną agresywności wód opadowych, powierzchniowych i podziemnych względem węglanowych skał zlewni Białego Potoku (Tatry Zachodnie).

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: marzena.szostakiewicz@uw.edu.pl

## CHARAKTRYSTYKA TERENU BADAŃ

Zlewnia Białego Potoku o powierzchni 3,3 km<sup>2</sup>, jest położona na południe od Zakopanego, w obrębie jednolitej części wód podziemnych numer 156, w obszarze Tatrzańskiego Parku Narodowego (fig. 1). Lokalizacja poligonu w terenie objętym ochroną pozwoliła na zminimalizowanie wpływu czynników antropogenicznych (zwłaszcza dopływu ścieków bytowych i przemysłowych), sztucznie zmieniających naturalną agresywność wód. Badany obszar budują głównie utwory węglanowe (triasowe dolomity, wapienie dolomityczne i wapienie) serii regłowej dolnej (fig. 1).

Jedynie na 12% powierzchni zlewni odsłaniają się margle, łupki margliste, łupki, piaskowce i kwarcyty. W składzie mineralnym skał dominują: kalcyt, dolomit i kwarc. Podrzędnie występują minerały ilaste (głównie illit), plagiokalcy (przeważa albit), tlenki i wodorotlenki żelaza oraz manganu oraz krzemionka (Turnau-Morawska, 1953; Guzik i in., 1955; Michalik, 1958; Korczyńska-Oszacka, 1977, 1979; Bac-Moszaszwili i in., 1979; Bąk i in., 1994; Pawlikowski i in., 1997).

Litologia tych utworów determinuje rzeźbę terenu. Odporne na wietrzenie dolomity i wapienie budują skałki o pra-

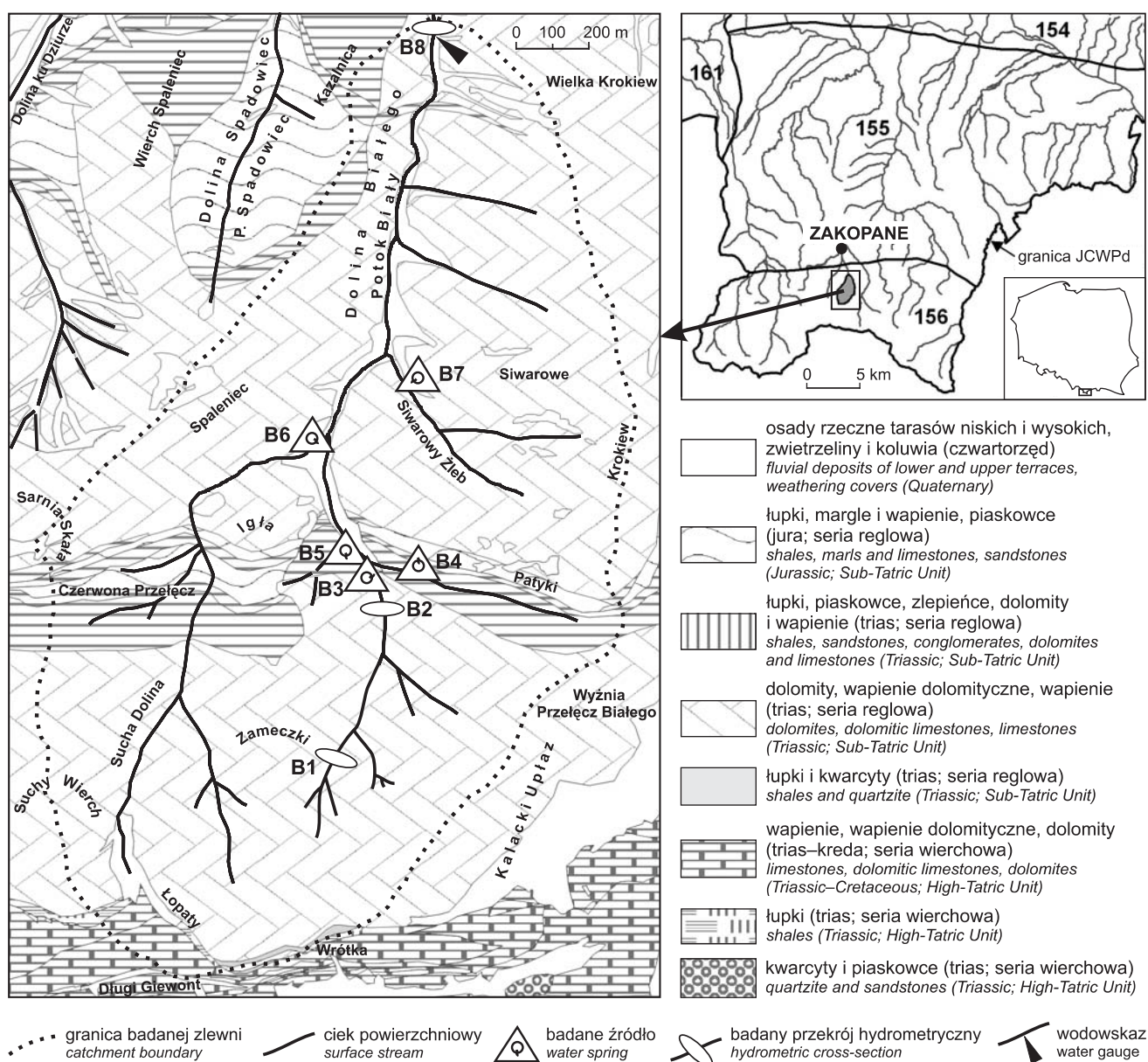


Fig. 1. Lokalizacja punktów badawczych  
(Guzik i in., 1955; Michalik, 1958; Bac-Moszaszwili i in., 1979; Paczyński, Sadurski, red., 2007)

Location of study sites  
(Guzik *et al.*, 1955; Michalik, 1958; Bac-Moszaszwili *et al.*, 1979; Paczyński, Sadurski, ed., 2007)

wie pionowych ścianach. Duże spadki terenu utrudniają infiltrację wód opadowych i alimentację wód podziemnych.

Wody podziemne zlewni są zasilane głównie przez infiltrację wód opadowych, a drenowane przede wszystkim przez głęboko wcięty Białą Potok i jego dopływy oraz podrzędnie przez źródła (w większości okresowe). Wskaźnik uźródlenia poligonu wynosi 4,8 źr./km<sup>2</sup> i jest on bardzo zbliżony do wartości wyznaczonej przez Humnickiego (1992) dla skał osadowych serii wierchowej i reglowej całego masywu tatrzańskiego w granicach Polski (4,7 źr./km<sup>2</sup>). Średnia wydajność źródeł zawiera się w przedziale od 0,01 do 0,1 dm<sup>3</sup>/s, zatem przyna-

leżą one do VII klasy według klasyfikacji O. Meinzera (Pazdro, Kozerski, 1990). Wyjątek stanowi źródło B7 o średniej wydajności równej 1,35 dm<sup>3</sup>/s, co pozwala zaliczyć je do V klasy według klasyfikacji O. Meinzera.

Ciekawym zjawiskiem w obszarze badanej zlewni (zbudowanej głównie z węglanów) jest bardzo słaby rozwój zjawisk krasowych. Występują jedynie powierzchniowe mikroformy. Jest to związane z litologią utworów – trudno rozpuszczalnymi triasowymi dolomitami (Rudnicki, 1958, 1967; Dąbrowski, 1967; Zwoliński, 1987; Grodzicki, 1991).

## METODYKA BADAŃ

W celu określenia agresywności wód zlewni Białego Potoku w latach 2002–2004 monitorowano zmiany właściwości fizykochemicznych:

- wód opadowych,
- wód powierzchniowych – w trzech przekrojach hydrometrycznych (z których jeden jest przekrojem zamkającym obszar zlewni – B8),
- wód podziemnych – drenowanych przez pięć reprezentatywnych źródeł.

Przy wyborze tych punktów kierowano się następującymi kryteriami:

- litologia drenowanych utworów,
- wydajność,
- charakter wypływu wód (stały lub okresowy),
- pozycja morfologiczna.

Oznaczano temperaturę wody, odczyn, potencjał utleniająco-redukcyjny oraz przewodność elektrolityczną właściwą zgodnie z zaleceniami Witczaka i Adamczyka (1994). Pobierano również próbki wód (77 próbek) do analitycznych oznaczeń stężeń głównych składników oraz wybranych składników podrzędnych i mikroskładników wód (Fe, Mn, Al, SiO<sub>2</sub>). Wyboru składników podrzędnych i mikroskładników wód dokonano na podstawie analizy składu mineralnego kompleksów skalnych budujących warstwę wodonośną.

W celu wykluczenia błędów oznaczeń stężeń jonów, we wszystkich okresach badawczych pobierano próbki dublowane (tym samym sprzętem i przy zachowaniu takiej samej procedury jak „normalne” próbki oraz poddawano je analizie w tym samym zakresie). Następnie porównywano stężenia wszystkich oznaczanych składników wód w próbce normalnej i dublowanej, uzyskując wysoką zgodność przekraczającą 97%. Zgodnie z zaleceniami terenowego programu QA/QC próbki dublowane stanowiły minimum 10% próbek normalnych (Szczepańska, Kmiecik, 1998).

Ponadto dla wykonanych analiz obliczono błąd na podstawie bilansu jonowego, zgodnie z wymaganiami PN-89/C-04638/02. Błędy wszystkich analiz nie przekraczały wartości dopuszczalnych.

Zebrane dane umożliwiły obliczenie indeksu Langeliera, wskaźnika nasycenia roztworu względem węglanu wap-

nia oraz twardości ogólnej wody, będących powszechnie stosowanymi w Europie wskaźnikami agresywności wód względem skał węglanowych (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002).

Indeks Langeliera określa możliwość rozpuszczania lub wytrącania węglanu wapnia (wzór 1). W przypadku, gdy indeks przyjmuje wartości ujemne, analizowane wody są agresywne względem węglanów. Dodatnia wartość indeksu informuje o przesyleniu wód względem tych minerałów i tendencji do ich potencjalnego wytrącania. Natomiast wody neutralne charakteryzuje zerowa wartość indeksu (Marangou, Kyros, 2001; Al-Rawajfeh i in., 2005; Prisyazhniuk, 2007).

$$LSI = pH - pHs \quad [1]$$

gdzie:

- LSI* – indeks Langeliera [–],
- pH* – odczyn wód pomierzony [–],
- pHs* – odczyn wody w stanie równowagi z węglanem wapnia [–].

Odczyn wody w stanie równowagi z węglanem wapnia obliczono wykorzystując model geochemiczny wprost wykonany w programie PHREEQC v. 2.1 z bazą danych termodynamicznych phreeq.dat. Dane wejściowe do modelu stanowiły właściwości fizykochemiczne i skład jonowy badanych wód. W wyniku modelowania uzyskano odczyn roztworu w stanie równowagi z węglanem wapnia.

Obliczenia modelowe umożliwiły również określenie wartości wskaźników nasycenia (SI) analizowanych wód względem węglanów. Ujemna wartość SI wskazuje na potencjalną możliwość rozpuszczania minerału w roztworze, dodatnia na możliwość jego wytrącania. Stan równowagi przyjmuje się jako zero z poprawką ±5% log stałej równowagi reakcji.

Ponadto przeanalizowano wartości twardości badanych roztworów. Twardość obliczono przy wykorzystaniu zanalizowanych stężeń jonów. Wody o twardości ogólnej mniejszej niż 90 mgCaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup> wykazują właściwości agresywne (agresywność ługująca).

## AGRESYWNÓŚĆ WÓD POWIERZCHNIOWYCH I PODZIEMNYCH

Agresywność jest jedną z właściwości fizykochemicznych wód, uwarunkowaną ich składem jonowym. Stąd też istotnym elementem charakterystyki tego parametru jest rozpoznanie stężeń poszczególnych składników i ich zmian na drodze filtracji.

W składzie jonowym wód opadowych we wszystkich okresach badawczych dominowały jony wapniowe, wodorowęglanowe i chlorkowe, zatem przeważały wody typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  oraz trzyjonowe typu  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Ca}$ . Okresowo (w sezonie jesienno-zimowym) wzrastał udział jonów chlorkowych, siarczanowych i magnezowych przekraczając 20% mval/dm<sup>3</sup>. Udział pozostałych makroskładników wód nie przekraczał 10% mval/dm<sup>3</sup>. Stężenia analizowanych mikroskładników wód były mniejsze od granicy ich oznaczalności wynoszącej: dla glinu 0,05 mg/dm<sup>3</sup>, dla krzemionki 0,02 mg/dm<sup>3</sup>, a dla żelaza i manganu 0,005 mg/dm<sup>3</sup>. Mineralizacja ogólna wód opadowych zawierała się w przedziale 10–50 mg/dm<sup>3</sup>. Maksymalne wartości stwierdzono w próbkach pobieranych zimą (śnieg), co należy wiązać z rozpuszczaniem w tych wodach pyłów osadzanych na powierzchni opadu stałego.

W składzie jonowym wód powierzchniowych zlewni Białego Potoku dominują jony wapniowe, magnezowe i wodorowęglanowe. Są to wody typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ . Taki skład jonowy koreluje z litologią utworów budujących badaną zlewnię (głównie dolomity i wapienie). Stężenia analizowanych mikroskładników wód były z reguły mniejsze od granicy ich oznaczalności. Średnia mineralizacja ogólna wód powierzchniowych zawierała się w przedziale od 170 (w górnej części zlewni – pkt. B1) do 270 mg/dm<sup>3</sup> (w przekroju zamykający obszar zlewni – pkt. B8), a ich odczyn zmieniał się od 8,0 (pkt. B1) do 8,4 (pkt. B8).

Warto zwrócić uwagę, iż we wszystkich okresach badawczych stwierdzono wzrost mineralizacji ogólnej wód i odczynu zgodnie z kierunkiem przepływu wód powierzchniowych.

W składzie jonowym wód podziemnych (podobnie jak powierzchniowych) dominują jony wapniowe, magnezowe i wodorowęglanowe. Natomiast udział pozostałych jonów nie przekracza 10% mval/dm<sup>3</sup>, zatem zgodnie z klasyfikacją Szczukariewa-Prikłonskiego (Dowgiałło i in., red., 2002) są to wody typu  $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ .

Stężenia analizowanych mikroskładników wód przeważnie nie przekraczały w większości badanych punktów granicy oznaczalności. Wyjątek stanowią źródła B4 i B5 drenujące klastyczne utwory triasu, zawierające w swym składzie mineralnym znaczne ilości tlenków i wodorotlenków żelaza. Mineralizacja ogólna wód podziemnych zlewni Białego Potoku zawiera się w przedziale 190–300 mg/dm<sup>3</sup>. Zgodnie z klasyfikacją Pazdry i Kozerskiego (1990) są to wody słodkie, o odczynie słabo zasadowym. Takie wartości odczynu przy potencjale utleniająco-redukcyjnym rzędu 300–500 mV są charakterystyczne dla wód podziemnych strefy aktywnej wymiany węglanowych pokryw zwietrzelinowych, co koreluje z litologią

utworów budujących poligon (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002) (fig. 1).

Dominującą rolę rozpuszczania węglanów (system otwarty wobec dwutlenku węgla) w kształtowaniu chemizmu wód powierzchniowych i podziemnych zlewni Białego Potoku, potwierdziły wykonane przez autorkę modele geochemiczne w programie PHREEQC z bazą danych termodynamicznych phreeq.dat (Szostakiewicz, 2005; Szostakiewicz, Małecki, 2006; Małecki, Szostakiewicz-Hołownia, 2008).

Ze względu na skład litologiczny warstwy wodonośnej oraz odnośnienie przez wielu badaczy pojęcia agresywności wód jedynie do rozpuszczania skał węglanowych przeanalizowano zmiany agresywności ługującej i węglanowej na drodze filtracji (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002).

**Agresywnością ługującą** charakteryzują się wody o twardości ogólnej poniżej 90 mg  $\text{CaCO}_3/\text{dm}^3$ . Ponadto wyróżnia się wody silnie agresywne o twardości poniżej 45 mg  $\text{CaCO}_3/\text{dm}^3$  (2,5 °n) i wody słabo agresywne o twardości zawierającej się w przedziale 45–90 mg  $\text{CaCO}_3/\text{dm}^3$  (2,5–5,0 °n) (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002).

Spośród badanych wód silną agresywnością charakteryzują się wody opadowe (tab. 1). Wody powierzchniowe i podziemne nie są agresywne ługująco. Warto dodać, że spośród dwóch rodzajów twardości w wodach powierzchniowych i podziemnych poligonu dominuje twardość węglanowa, związana z występowaniem węglanów i wodorowęglanów wapnia oraz magnezu. Twardość niewęglanowa, natomiast nie przekraczała 27 mg  $\text{CaCO}_3/\text{dm}^3$  (źródło B5 wrzesień 2003 r.).

**Agresywnością węglanową** charakteryzują się wody zawierające ponad 4 mg/dm<sup>3</sup> agresywnego dwutlenku węgla. Ze względu na trudne do wykonania oznaczenia stężenia tego gazu, do oceny agresywności węglanowej wód stosuje się indeks Langeliera.

Analizując wartości indeksu Langeliera można stwierdzić, że wody opadowe opróbowane w zlewni Białego Potoku wykazują silną agresywność węglanową (tab. 2).

Wody podziemne są generalnie bliskie stanu równowagi z węglanami lub wykazują niewielką tendencję do ich rozpuszczania. Wyjątek stanowią wody źródła B3. Dodatnie wartości indeksu Langeliera we wszystkich sezonach badawczych, mogą być związane z rumoszowym typem wypływu, umożliwiającym bardzo dobry kontakt wód podziemnych z powietrzem atmosferycznym. Dzięki temu ustala się nowy stan chwilowej równowagi gazowej. Tezę tę potwierdzają:

- większe wartości odczynu stwierdzone w wodach drenowanych przez to źródło;
- mniejsze wartości logarytmu ciśnienia parcjalego dwutlenku węgla (wyznaczone programem PHREEQC), wynoszące –2,92 dla źródła B3 oraz –2,68 dla źródła B6 i –2,54 dla źródła B7. Logarytm ciśnienia parcjalego dwutlenku węgla w glebach zawiera się

Tabela 1

**Twardość ogólna wód opadowych, powierzchniowych i podziemnych [mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>]**  
 Hardness of precipitation, surface and ground waters [mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>]

Sezon badawczy	Wody opadowe	Wody powierzchniowe			Wody podziemne				
		B1*	B2	B8	B3	B4*	B5	B6	B7
Sierpień 2002	9	145	156	163	180	171	190	185	196
Wrzesień 2002	10	141	164	165	157	150	171	169	177
Marzec 2003	8	–	149	151	177	–	152	138	165
Wrzesień 2003	9	–	165	180	189	184	191	184	192
Luty 2004	12	132	152	143	170	–	166	146	165
Kwiecień 2004	6	135	149	155	165	149	169	143	171
Sierpień 2004	33	111	118	138	153	117	178	158	165
Listopad 2004	25	–	145	161	169	159	165	170	172
<b>Średnia</b>	<b>14</b>	<b>133</b>	<b>150</b>	<b>157</b>	<b>170</b>	<b>155</b>	<b>173</b>	<b>162</b>	<b>175</b>

\* źródło lub ciek okresowy; wody agresywne ługująco – wartość twardości ogólnej jest mniejsza niż 90 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>; wody nieagresywne ługująco – wartość twardości ogólnej jest większa niż 90 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>

\* *perennial spring or stream; aggressive leaching waters – hardness value <90 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>; non-aggressive leaching water – hardness value >90 mg CaCO<sub>3</sub>/dm<sup>3</sup>*

Tabela 2

**Wartości indeksu Langeliera wyznaczone dla wód opadowych, powierzchniowych i podziemnych [–]**  
 Langelier Saturation Index value calculated for precipitation, surface and ground waters [–]

Sezon badawczy	Wody opadowe	Wody powierzchniowe			Wody podziemne				
		B1*	B2	B8	B3	B4*	B5	B6	B7
Sierpień 2002	–2,43	0,05	0,11	0,35	0,18	–0,08	–0,11	–0,08	–0,02
Wrzesień 2002	–2,64	–0,57	0,29	0,37	0,16	–0,06	–0,08	–0,02	–0,05
Marzec 2003	–2,63	–	0,09	0,12	0,22	–	–0,26	–0,21	–0,12
Wrzesień 2003	–2,32	–	0,32	0,50	0,18	0,22	0,10	0,16	0,00
Luty 2004	–2,39	0,05	0,25	0,16	0,16	–	–0,03	–0,02	–0,02
Kwiecień 2004	–2,80	–0,02	0,22	0,30	0,15	0,12	–0,08	–0,04	–0,09
Sierpień 2004	–1,63	0,12	0,28	0,27	0,16	–0,19	–0,08	–0,02	–0,05
Listopad 2004	–2,12	–	0,45	0,52	0,39	0,24	0,12	0,23	0,12
<b>Średnia</b>	<b>–2,37</b>	<b>–0,07</b>	<b>0,25</b>	<b>0,32</b>	<b>0,20</b>	<b>0,04</b>	<b>–0,05</b>	<b>0,00</b>	<b>–0,03</b>

\* źródło lub ciek okresowy; wody agresywne – ujemna wartość indeksu; wody neutralne – wartość indeksu równa 0,00; wody nieagresywne – dodatnia wartość indeksu

\* *perennial spring or stream; aggressive waters – negative LSI value; neutral waters – LSI value is 0.00; non-aggressive water – positive LSI value*

w przedziale od –1,5 do –2,5 natomiast w atmosferze jest równy –3,5 (Appelo, Postma, 1993). Wartości pCO<sub>2</sub> w wodach podziemnych drenowanych przez źródło B3 są mniejsze i bardziej zbliżone do warunków panujących w atmosferze niż stwierdzone w pozostałych wodach podziemnych.

Wody powierzchniowe zlewni Białego Potoku natomiast nie wykazują tendencji do rozpuszczania węglanów. Jedynie w przekroju hydrometrycznym B1 w dwóch sezonach badawczych stwierdzono niewielką agresywność węglanową tych wód. Warto również zwrócić uwagę, że wartość indek-

su Langeliera wzrasta zgodnie z kierunkiem przepływu wód powierzchniowych. Zależność ta koreluje się ze zmianami stężeń jonów wapnia, magnezu oraz wodorowęglanów w profilu podłużnym potoku. Jest to związane rozpuszczaniem węglanów przez wody powierzchniowe oraz wody podziemne drenowane przez potok i dostarczaniem do układu produktów tego procesu zmieniających agresywność węglanową wód.

Obok indeksu Langeliera pewnym wskaźnikiem agresywności węglanowej wód jest również wskaźnik nasycenia wód względem węglanu wapnia (tab. 3).

Tabela 3

**Wskaźniki nasycenia względem węglanu wapnia [-]**  
Calcite Saturation Index values [-]

Sezon badawczy	Wody opadowe	Wody powierzchniowe			Wody podziemne				
		B1*	B2	B8	B3	B4*	B5	B6	B7
Sierpień 2002	-3,90	0,06	0,13	0,41	0,21	-0,10	-0,15	-0,10	-0,03
Wrzesień 2002	-3,33	-0,83	0,33	0,42	0,19	-0,07	-0,11	-0,03	-0,06
Marzec 2003	-3,25	-	0,11	0,14	0,26	-	-0,34	-0,25	-0,15
Wrzesień 2003	-2,76	-	0,37	0,57	0,21	0,26	0,13	0,19	0,00
Luty 2004	-2,96	0,05	0,29	0,18	0,19	-	-0,04	-0,03	-0,02
Kwiecień 2004	-3,33	-0,02	0,25	0,34	0,18	0,14	-0,11	-0,04	-0,11
Sierpień 2004	-2,64	0,13	0,31	0,30	0,19	-0,22	-0,11	-0,03	-0,06
Listopad 2004	-2,83	-	0,51	0,58	0,43	0,28	0,15	0,26	0,15
<b>Średnia</b>	<b>-3,12</b>	<b>-0,12</b>	<b>0,29</b>	<b>0,37</b>	<b>0,23</b>	<b>0,05</b>	<b>-0,07</b>	<b>0,00</b>	<b>-0,04</b>

\* źródło lub ciek okresowy; wody niedosycone względem węglanu wapnia – wartość SI mniejsza niż -0,42; wody w stanie równowagi – wartość indeksu zawiera się w przedziale (od -0,42 do 0,42); wody przesycone względem węglanu wapnia wartość SI większa niż 0,42

\* *perennial spring or stream; water unsaturated in CaCO<sub>3</sub> – SI value < 0.42; equilibrium state (SI value between -0.42 and 0.42); supersaturated waters – SI value > 0.42*

Uzyskane wyniki obliczeń wskaźników nasycenia wskazują, że wody opadowe są silnie niedosycone, zatem potencjalnie mogą być agresywne względem węglanu wapnia. Wody podziemne i powierzchniowe są generalnie w stanie

równowagi. Jedynie w przekroju hydrometrycznym B1 we wrześniu 2002 roku stwierdzono występowanie wód charakteryzujących się agresywnością węglanową.

## PODSUMOWANIE

Właściwości fizykochemiczne i skład jonowy wód powierzchniowych i podziemnych zlewni Białego Potoku jest uwarunkowany litologią utworów budujących warstwę wodonośną. Dominujące znaczenie w ich kształtowaniu odgrywa rozpuszczanie węglanów w obecności dwutlenku węgla.

Agresywność węglanową wód określono za pomocą indeksu Langeliera. Otrzymane wyniki były porównywalne z obliczonymi wartościami wskaźnika nasycenia badanych

wód względem węglanu wapnia. Różnice w ich interpretacji wynikają z uwzględnienia przy obliczaniu wartości SI możliwego błędu analizy.

Procesy zachodzące w warstwie wodonośnej determinują zmiany agresywności wód na drodze filtracji. Wody opadowe charakteryzują się silną agresywnością węglanową i ługującą. Natomiast wody powierzchniowe i podziemne generalnie są w stanie zbliżonym do równowagi z węglanami.

## LITERATURA

- AL-RAWAJFEH A.G., GLADE H., ULRICH J., 2005 – Scaling in multiple-effect distillers: the role of CO<sub>2</sub> release. *Desalination*, **182**, 1–3: 209–219.
- APPELO C.A.J., POSTMA D., 1993 – Geochemistry groundwater and pollution. A.A. Balkema, Rotterdam.
- BAC-MOSZASZWILI M., 1998 – Budowa geologiczna jednostek reglowych Tatr Zachodnich. *Stud. Geol. Pol.*, **3**: 113–136.
- BAC-MOSZASZWILI M., BURCHART J., GŁAZEK J., IWANOW A., JAROSZEWSKI W., KOTAŃSKI Z., LEFELD J., MASTELLA L., OZIMKOWSKI W., RONIEWICZ P., SKUPIŃSKI A., WESTWALEWICZ-MOGILSKA E., 1979 – Mapa geologiczna Tatr Polskich w skali 1:30 000. Wyd. Geol., Warszawa.
- BAK B., PIETRZYŃSKI A., RADWANEK-BAK B., 1994 – Dawne górnictwo kruszcowe i rud żelaza w Tatrach. *Pr. Specjalne PTM*, **5**: 54–57.
- DĄBROWSKI T., 1967 – Podziemne przepływy krasowe potoków w Tatrach Zachodnich. *Acta Geol. Pol.*, **17**, 4: 593–622.
- DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI A.S., MACIOSZCZYK T., RÓŻKOWSKI A. (red.), 2002 – Słownik hydrogeologiczny. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

- GRODZICKI J., 1991 – Geneza i ewolucja jaskiń Tatr Zachodnich. *W: Jaskinie Tatrzańskiego Parku Narodowego*, 1: 11–41. Wyd. PTP-NoZ i TPN, Warszawa.
- GUZIK K., GUZIK S., JACZYŃSKA W., SOKOŁOWKI S., 1955 – Mapa geologiczna Tatr w skali 1:10 000, ark. Łysanki. Wyd. Geol., Warszawa.
- HUMNICKI W., 1992 – Współzależność wód podziemnych i powierzchniowych zlewni Białki w Tatrach na tle budowy geologicznej. Praca doktorska. Bibl. Wydz. Geol. UW, Warszawa.
- KORCZYŃSKA-OSZACKA B., 1977 – Tlenki manganu powstałe jako produkty utlenienia tatrzańskich wapieni manganowych w Dolinie Chochołowskiej *W: Sprawozdania z posiedzeń komisji naukowych PAN oddział w Krakowie za okres lipiec–grudzień 1976*, 20, 2: 441–442. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław.
- KORCZYŃSKA-OSZACKA B., 1979 – Minerale węglanowe skał manganowych Doliny Chochołowskiej (Tatry). *Pr. Miner. Komis. Nauk Miner. PAN*, 54: 67–77.
- MACIOSZCZYK A., DOBRZYŃSKI D., 2002 – Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- MAŁECKI J.J., 1998 – Role of the aeration zone in forming chemical composition of shallow ground waters, based on cases of selected hydrochemical environments. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 381.
- MAŁECKI J., SZOSTAKIEWICZ-HOŁOWNIA M., 2008 – Wykorzystanie modelu numerycznego do obliczeń denudacji chemicznej zlewni potoku Białego (Tatry Zachodnie). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 431: 127–134.
- MARANGO V.S., KYROS S., 2001 – First desalination plant in Cyprus – product water aggressively and corrosion control. *Desalination*, 138, 1–3: 251–258.
- MICHALIK K., 1958 – Mapa geologiczna Tatr w skali 1:10 000, ark. Czerwone Wierchy. Wyd. Geol., Warszawa.
- PACZYŃSKI B., SADURSKI A., (red.), 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PAWLIKOWSKI M., MAZUREK J., WIECZOREK J., 1997 – Badania mineralogiczno-petrograficzne skał zbiornikowych wód geotermalnych z otworu Biały Dunajec PAN-1. *Gosp. Sur. Miner.*, 13, 2: 231–238.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- PN-89/C-04638/02 – Bilans jonowy wody. Sposób obliczania bilansu jonowego wody.
- PRISYAZHNIUK V.A., 2007 – Prognosticating scale-forming properties of water. *Appl. Therm. Eng.*, 27, 8–9: 1637–1641.
- RUDNICKI J., 1958 – Kilka uwag o rozwoju jaskiń w dolinie Kościeliskiej i Miętusiej. *Prz. Geol.*, 6, 3: 131–132.
- RUDNICKI J., 1967 – Geneza i wiek jaskiń Tatr Zachodnich. *Acta Geol. Pol.*, 17, 4: 521–585.
- SZCZEPAŃSKA J., KMIECIK E., 1998 – Statystyczna kontrola jakości danych w monitoringu wód podziemnych. Wyd. Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków.
- SZOSTAKIEWICZ M., 2005 – Ocena denudacji chemicznej wybranych zlewni Karpat wewnętrznych. Praca doktorska. Biblioteka Wydz. Geol. UW, Warszawa.
- SZOSTAKIEWICZ M., MAŁECKI J., 2006 – Zastosowanie modelowania geochemicznego do ilościowej oceny denudacji chemicznej. *Prz. Geol.*, 54, 11: 1007–1010.
- TURNAU-MORAWSKA M., 1953 – Kajper tatrzański, jego petrografia i sedimentologia. *Acta Geol. Pol.*, 3, 1: 33–102.
- WITCZAK S., ADAMCZYK A., 1994 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników wód podziemnych i metod ich oznaczania. T. II. PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- ZWOLIŃSKI S., 1987 – W podziemiach tatrzańskich. Wyd. Geol., Warszawa.

## SUMMARY

Aggressiveness is the property of water, which causes destruction of rocks. The aggressiveness is also one of the major factors controlling the Earth surface and chemical composition of water. The paper presents the results of estimation of aggressiveness of precipitation, surface and ground waters. The amount of aggressiveness was estimated by hardness of water, Langelier Saturation Index and SI values calculated by PHREEQC.

The study area (Biały Stream Basin) is composed mainly of carbonates. Groundwaters are recharged by the infiltration of meteoric waters and discharged by the Biały Stream and its side tributaries. The chemical composition of ground and

surface waters is formed through the reactions occurring within the aquifer. Among them, the most important are processes of dissolution of carbonates (calcite and dolomite) in the presence of CO<sub>2</sub> in open system conditions.

These processes cause changes in the aggressiveness of water. Rain waters are unsaturated with respect to calcite carbonate and are potentially corrosive. Surface and ground waters are neutral and stable with respect to carbonates or they are supersaturated with carbonates. Generally, surface and ground waters are not potential corrosives with respect to the rocks of the Biały Stream Basin.