

Problemy hydrogeologii i ochrony wód Pienińskiego Parku Narodowego

Problems of hydrogeology and water protection in the Pieniny National Park

DANUTA MAŁECKA, WŁODZIMIERZ HUMNICKI

Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

Abstract. The paper presents hydrogeological and hydrochemical characteristics of the Pieniny National Park and adjacent areas, based on 1994–1998 research. The underground runoff modules ranging from less than 0.5 l/s-km² to over 3 l/s-km² and spring yields only rarely exceeding 0.5 l/s indicate low waterlogging of the area. More than a thousand determinations of physical and chemical properties of waters, as well as over 200 analyses of their ionic content and mineralization, indicated four hydrochemical zones, largely depending on the lithology of water-bearing substrate and surface morphology. Because the area protected within the Pieniny National Park is substantially elevated over the Dunajec River Valley, the influence of the Czorsztyn-Niedzica-Sromowce Wyżne Reservoir may be exerted indirectly, mostly via changing climatic parameters.

WSTĘP

Parki narodowe są najskuteczniejszą formą ochrony przyrody. Według ustawy z 1991 roku z późniejszymi zmianami „Park narodowy obejmuje obszar chroniony, wyróżniający się szczególnymi wartościami naukowymi, przyrodniczymi, społecznymi, kulturowymi i wychowawczymi o powierzchni nie mniejszej niż 1000 hektarów, na których ochronie podlega całość przyrody oraz swoiste cechy krajobrazu”.

Pieniński Park Narodowy, pomimo niewielkich rozmiarów, spełnia wszelkie kryteria stawiane obszarom chronionym. Obejmuje on jeden z najpiękniejszych zakątków naszego kraju. Swoiste piękno krajobrazu Pienin Właściwych – najbardziej urozmaiconych pod względem ukształtowania terenu, liczne osobliwości przyrody żywej i nieożywionej, od dawna przyciągały

uwagę przyrodników oraz przedstawicieli innych dyscyplin naukowych. Obszar Pienińskiego Parku Narodowego od zachodu graniczy bezpośrednio z Zespołem Zbiorników Wodnych (ZZW) Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne. Sztuczne podpiętrzenie wód prowadzi do zmiany bazy drenażowej potoków, co w dalszej konsekwencji może wpływać na zmiany całego ekosystemu. Południowo-wschodnią granicę Parku stanowi przełom Dunajca. Poza niepowtarzalnymi walorami krajobrazu, powoduje on głęboki drenaż masywu i lokalny zanik powierzchniowych przejałów wód.

Przy obfitości prac dotyczących zagadnień geologii pienińskiego pasa skałkowego i jego pozycji tektonicznej w łańcuchu Karpat, prace hydrogeologiczne dotyczące samych Pienin i ich najbliższego otoczenia reprezentowane są skromnie. Zarówno pierwsze wzmianki na temat zagad-

nień hydrogeologicznych tego rejonu, pochodzące z połowy XIX wieku, jak i późniejsze opracowania (m.in. Szajnocha 1892), dotyczyły z reguły znacznie większego obszaru Karpat, przy czym szczególnie uprzywilejowanym rejonem były Tatry i Podhale. Zainteresowania badaczy koncentrowały się przede wszystkim na problematyce źródeł, ich występowaniu, genezie, a zwłaszcza hydrochemicznej charakterystyce wód. Najwięcej uwagi poświęcono źródłom mineralnym Krościenka nad Dunajcem i Szczawnicy – bezpośrednio związanych z rejonem Pienin (Korczyński 1901, 1909; Marchlewski 1914; Gołąb 1948, 1952).

Przy okazji prowadzenia badań geologicznych podejmowano również problematykę źródeł położonych w strefie kontaktu pienińskiego pasa skałkowego z sąsiednimi jednostkami geologicznymi. Zagadnieniem występowania źródeł siarkowodorowych położonych na kontakcie z fliszem Podhala zajmowali się Birkenmajer (1956) i Watycha (1959), a w następnych latach w znacznie szerszym zakresie Macioszczyk (1964), który rozwinął myśl Gołęba, dotyczącą tektonicznego pochodzenia tych źródeł. Z kolei Bober i Oszczytko (1963) przedstawili problematykę chemizmu źródeł występujących na kontakcie pienińskiego pasa skałkowego z jednostką margurską. Autorzy ci stwierdzili zbliżony skład chemiczny wód podziemnych obu jednostek, przy czym źródła pienińskiego pasa skałkowego charakteryzują się nieco wyższą mineralizacją.

We wszystkich opracowaniach regionalnych Pieniny traktowano jako niepodzielną całość. I tak Kolago (1970), biorąc pod uwagę odmienność warunków hydrogeologicznych, podzielił obszar Karpat na pięć regionów: region fliszowy, orawski, pieniński, podhalański i tatrzański. Podobnie pieniński pas skałkowy został potraktowany przez Małecką i Murzynowskiego (1978) oraz na „Mapie hydrogeologicznej Podhala i obszarów przyległych” w skali 1:100 000 autorstwa Małeckiej (1982).

Szczegółowiej obszarem Pienińskiego Parku Narodowego zajął się Kostrakiewicz (1965). Autor ten w swoim studium o charakterze hydrograficznym wiele miejsca poświęcił problematyce źródeł pienińskich, ich typom, wydajnościom

i mineralizacji wód. Zainteresowania Kostrakiewicza stosunkami krenologicznymi na obszarze Pienin znalazły potwierdzenie również w późniejszych pracach tego autora (1991a, b, 1992, 1993, 1996).

Nowa problematyka badawcza na obszarze Pienin narodziła się w związku z budową zapory na Dunajcu. Liczne prace hydrogeologiczne związane z realizacją tej inwestycji ukierunkowane były na rozpoznanie warunków hydrogeologicznych, geologiczno-inżynierskich oraz ocenę wpływu zbiornika na wody podziemne. Na szczególną uwagę zasługują tu kompleksowe opracowania Niedzielskiego (1965a, b), Łukaszka i Niedzielskiego (1973), Dziewańskiego (1998) i literatura tam zawarta, oraz Małeckiej (1996) i Małeckiej z zespołem (1996). Między innymi od początku lat 70. prowadzone są na terenie Tatr i Podhala szczegółowe badania hydrogeologiczne, obejmujące systematyczne obserwacje stacjonarne w wytypowanych źródłach i studniach, również na terenie Pienińskiego Pasa Skałkowego.

Wyniki tego monitoringu, analizowane na tle regionalnych warunków hydrogeologicznych całej górnej części zlewni Dunajca były przedmiotem licznych publikacji (Małecka 1985, 1996; Małecka i Humnicki 1989; Małecka i Lipniacka 1990; Kazimierski i in. 1999). Poza tym wiele cennych informacji odnośnie wpływu budowy zapory na wody podziemne dostarczają badania Okręgowej Dyrekcji Gospodarki Wodnej w Krakowie, prowadzone w obszarach sąsiadujących z ZZW Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne. Nie obejmują one jednak obszarów bezpośrednio graniczących z Pienińskim Parkiem Narodowym.

Od 1994 roku zespół badawczy Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Uniwersytetu Warszawskiego rozpoczął szczegółowe badania hydrogeologiczne na obszarze, którego granice wyznaczają początkowo wody zbiornika, następnie dolina Dunajca po Krościenko, a na północy dolina Krośnicy. Wyniki tych badań są tematem niniejszego artykułu.

Pozycja pasa skałkowego w kształtowaniu warunków hydrogeologicznych Podhala

Jak wiadomo warunki hydrogeologiczne, bez względu na to jakiego dotyczą obszaru, kształto-

wane są pod wpływem szeregu czynników naturalnych i antropogenicznych, tworzących we współdziałaniu określony system przyrodniczy. Każdorazowo rozpoznanie warunków zasilania, charakteru krążenia i drenażu wód podziemnych wymaga szczegółowej znajomości środowiska geologicznego. W wielu przypadkach główne struktury geologiczne pokrywają się z granicami systemów hydrogeologicznych, czego najlepszym przykładem może być niecka mazowiecka.

W przypadku Tatr i Podhala w skład takiego systemu hydrogeologicznego wchodzi szereg jednostek geologiczno-strukturalnych o różnym wykształceniu litologicznym i stopniu zaangażowania tektonicznego. Pieniński pas skałkowy zajmuje tu szczególne miejsce. Z geologicznego punktu widzenia uznawany jest za granicę między Karpatami Wewnętrznymi i fliszem Karpat Zewnętrznych. W geomorfologicznym podziale Karpat wchodzi w skład Podhala, które, zgodnie z podziałem Klimaszewskiego i Starkela (1972) – idąc od południa – obejmuje: Rów Podtatrzański, Pogórze Gubałowskie, Pieniński Pas Skałkowy, Kotlinę Orawsko-Nowotarską, Działy Orawskie.

Pod względem hydrogeologicznym pieniński pas skałkowy spełnia dwojakiego rodzaju rolę. Do głębokości kilkudziesięciu metrów wody szczelinowe, szczelinowo-krasowe i porowe Tatr i Podhala, w tym również pienińskiego pasa skałkowego tworzą wspólny przypowierzchniowy poziom wodonośny, żywo reagujący na czynniki klimatyczne, narażony na bezpośrednie przenikanie zanieczyszczeń z powierzchni. W tym przypadku cała górna część zlewni Dunajca stanowi spójny system hydrogeologiczny, a granice jego określa powierzchniowy dział wodny.

Inaczej przedstawia się sprawa w przypadku wód głębokiego krążenia, których występowanie stwierdzono szeregiem głębokich wierceń badawczych. Wody meteoryczne infiltrujące na terenie masywu tatrzańskiego migrują zgodnie z zapadaniem serii wodonośnych pod utwory fliszu podhalańskiego, tworząc typową nieckę artestyjską (Ryc. 1). Przemieszczając się ku północy natrafiają na utwory pienińskiego pasa skałkowego, który stanowi dla nich szczelną barierę, wymuszającą zmianę kierunku przepływu na równo-

leżnikowy (Małecka 1992). Negatywne pod względem hydrogeologicznym wyniki głębokiego wiercenia (Maruszyna IG-1) potwierdziły wcześniej wypowiediane poglądy o szczelności północnego obrzeżenia niecki podhalańskiej (Macioszczyk 1964; Małecka 1967). Wiercenie to, według Birkenmajera (1986), przebiło kilka silnie sfałdowanych i zbrekcjonowanych „jednostek skałkowych i ich górnokredowej osłony”, a pionowy układ warstw skłania do wyrażenia poglądu, że podobny styl budowy występuje co najmniej do głębokości 5 km.

Na terenie Pienińskiego Parku Narodowego mamy do czynienia wyłącznie z poziomem przypowierzchniowym o zwierciadle swobodnym, drenowanym przez źródła i cieki powierzchniowe. Wyniki wierceń hydrogeologicznych, jak i badania wodochłonności utworów związane głównie z budową zapory wykazały, że utwory pienińskiego pasa skałkowego, podobnie jak formacji fliszowych, stanowią mało zasobny poziom wodonośny, o czym świadczą niskie współczynniki filtracji oraz wydajności pojedynczych otworów badawczo-eksploatacyjnych, nie przekraczające $1 \text{ m}^3/\text{h}$, przy wydatku jednostkowym do $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ na 1 m depresji.

WODY PIENIŃSKIEGO PARKU NARODOWEGO

W obszarach chronionych, nie penetrowanych wierceniami, rozpoznanie warunków hydrogeologicznych w głównej mierze opierać się musi na wynikach badań terenowych, obejmujących inwentaryzację naturalnych przejawów wód podziemnych w postaci źródeł, wycieków i podmokłości, obiektów gospodarki wodnej oraz potencjalnych ognisk zanieczyszczeń, których wpływ uwidacznia się w jakości wód. Z uwagi na istniejącą więź hydrauliczną pomiędzy wodami powierzchniowymi i podziemnymi, przy analizie warunków hydrogeologicznych uwzględnione zostały oba typy wód.

Uwagi metodyczne

Charakterystykę hydrogeologiczną i hydrochemiczną Pienińskiego Parku Narodowego i obszarów przyległych oparto głównie na wynikach ba-

dań terenowych i laboratoryjnych prowadzonych pod kierunkiem naukowym autorów artykułu w latach 1994–1998. Prace terenowe obejmowały inwentaryzację źródeł i studni kopanych, rejestrację potencjalnych ognisk zanieczyszczeń i obiektów gospodarki wodno-ściekowej oraz pomiary przepływu wszystkich potoków odwadniających Pieniński Park Narodowy.

Na podstawie badań wskaźnikowych wód powierzchniowych i podziemnych wytypowano około 200 punktów hydrogeologicznych do określenia składu jonowego i mineralizacji wód. Ponadto przeprowadzono jednorazowe opróbowanie w wytypowanych dwunastu punktach badawczych w celu określenia zanieczyszczeń organicznych i stanu bakteriologicznego wód (Tab. I).

Metodykę oznaczeń wskaźnikowych podano w tabeli II. Natomiast skład jonowy i ogólną mineralizację wód oznaczano w laboratorium Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego. Stosowano metody miareczkowe przy określaniu jonów Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , metodę fotometrii płomieniowej w przypadku jonów Na^+ i K^+ oraz metodę wagową dla mineralizacji ogólnej wyrażonej suchą pozostałością. Mikroskładniki oznaczono w Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego, gdzie stosowane są metody analityczne odpowiadające standardom międzynarodowym. Oznaczenia zanieczyszczeń organicznych (BZT₅) oraz bakteriologię wód wykonano w laboratorium specjalistycznym w Zakopanem.

Wyniki pomiarów posłużyły do opracowania dwu map tematycznych w skali 1:10 000, uzupełnionych szeregiem wykresów oraz komentarzem tekstowym. Główną treść tych map ilustrują załączone ryciny (Ryc. 2, 3). Podano na nich numery tylko tych punktów hydrogeologicznych, na które autorzy powoływali się w tekście artykułu.

Hydrogeologiczna charakterystyka terenu

O zasobności masywu w wody podziemne można wnioskować pośrednio na podstawie obliczeń bilansowych lub określenia modułów odpływu podziemnego.

Proporcje między odpływem całkowitym a odpływem reprezentującym wyłącznie drenaż wód podziemnych w poszczególnych zlewniach czą-

stkowych są zróżnicowane. Zależą głównie od morfologii terenu, głębokości rozcięcia masywu przez doliny rzeczne i lokalnej bazy drenażu.

Do oceny wielkości odpływu podziemnego stosowanych jest szereg metod:

- genetycznego podziału hydrogramu czyli metoda ścięcia fali (Kiciński 1963; Dynowska 1979 i wielu innych)

- metoda Wundta (1958), który odpływ podziemny utożsamiał ze średnim niskim odpływem miesięcznym

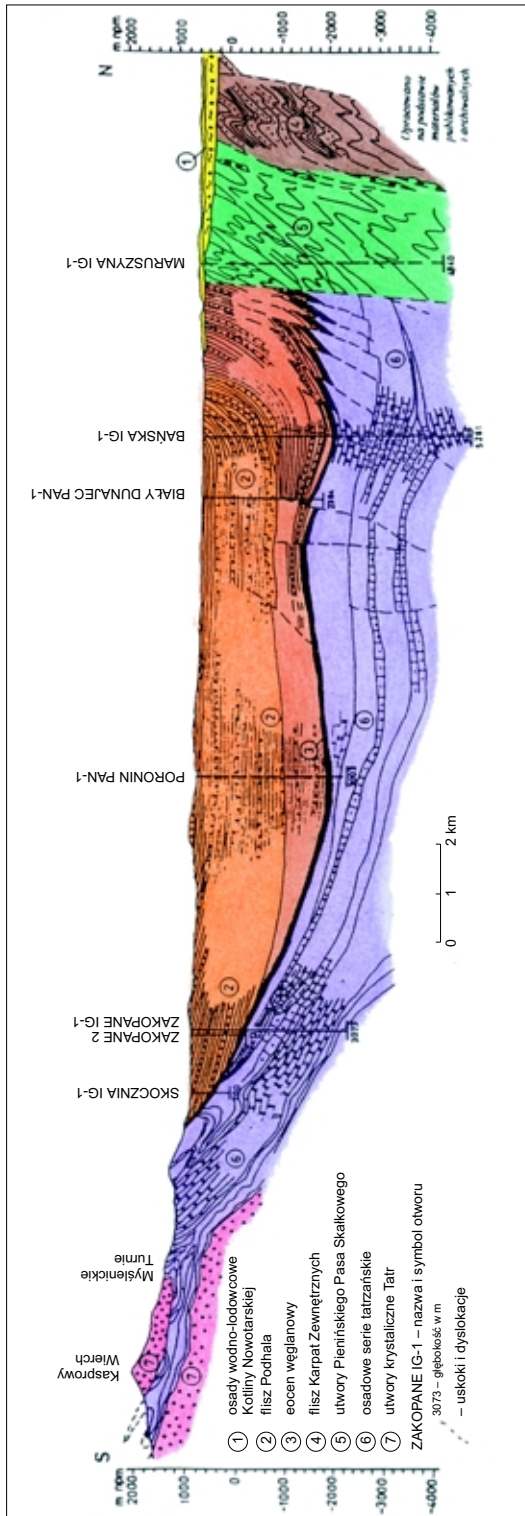
- metoda Killego (1970) polegająca na opracowaniu szeregu rozdzielczego minimalnych przepływów miesięcznych i wrysowaniu uporządkowanych wartości w układ współrzędnych, a następnie odczytaniu wartości średniego odpływu podziemnego.

Wszystkie w/w oraz inne ogólnie znane metody mogą być stosowane w przypadku, kiedy dysponujemy odpowiednio długimi ciągami obserwacyjnymi.

Ze względu na specyfikę obiegu wody w zlewniach odwadniających obszar Pienińskiego Parku Narodowego, a także zmiany wywołane pracą zapory w przekrojach kontrolowanych Sromowce Niżne i Krościenko nad Dunajcem, podjęto próbę określenia szacunkowych wartości odpływu podziemnego na podstawie jednorazowych pomiarów z września 1998 r. Był to miesiąc, który w skali całego roku charakteryzował się najniższymi stanami, co ilustrują obserwacje stanów Macelowego Potoku w przekroju nr 315 (Ryc. 4)

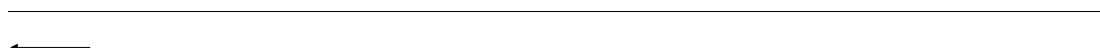
O ile niskie stany w miesiącach jesiennych są na Podhalu zjawiskiem normalnym, to komentarza wymagają anomalnie wysokie stany w lutym 1998 r. Fakt ten wywołany został przejściowym ociepleniem i wysokimi opadami deszczu. W dniach od 12 do 15 lutego w stacji Sromowce Niżne spadło 58,4 mm opadu, co przy praktycznym braku infiltracji spowodowało gwałtowny wzrost stanów z 8 do 22 cm. Dodać należy, iż jest to zjawisko wyjątkowe, ponieważ w obrębie górnej części zlewni Dunajca w miesiącach zimowych z reguły notowane są najgłębsze niżówki.

Przy wyznaczaniu modułów odpływu pomiarami objęto obszar zawarty pomiędzy doliną Dunajca a Krośnicą. Łącznie na analizowanym



Ryc. 1. Fragment przekroju geologicznego Kasprowy Wierch – Turbacz.

Fragment of the Kasprowy Wierch-Turbacz geological section.



Ryc. 2. Hydrogeologiczna charakterystyka Pienińskiego Parku Narodowego i obszarów przyległych.

Badawcze punkty hydrogeologiczne: 1 – źródło proponowane do specjalnej ochrony, 2 – studnia kopana, 3 – miejsce pomiaru objętości przepływu. Obserwacje stacjonarne: 4 – stacja opadowa IMGW, 5 – stacja opadowa PPN, 6 – wodowskaz IMGW, 7 – wodowskaz UW, 8 – źródło lub studnia kopana obserwowana okresowo. Odływ wód podziemnych do cieków powierzchniowych: 9 – numer pola, 10 – lokalne działy wodne, 11 – przedziały odpływu jednostkowego, 12 – strefa głębokiego drenażu, brak powierzchniowych przejawów wód. Inne objaśnienia: 13 – wskaźnik uźródlenia w granicach PPN, 14 – granica Pienińskiego Parku Narodowego, 15 – granice jednostek hydrogeologicznych, 16 – symbole rejonów hydrochemicznych wg ryciny 3.

Hydrogeological characteristics of the Pieniny National Park and adjacent areas

Hydrogeological research points: 1 – a spring proposed for special protection, 2 – man-made well, 3 – flow volume measurement site. Stationary observations: 4 – precipitation station (IMiGW), 5 – precipitation station (PPN), 6 – water-gauge (IMiGW), 7 – water-gauge (UW), 8 – periodically inspected spring or well. Groundwater release to surface streams: 9 – field number, 10 – local water divides, 11 – ranges of specific runoff, 12 – zone of deep drainage, no surface water features. Other explanations: 13 – spring density coefficient within the PPN, 14 – Pieniny National Park border, 15 – hydrogeological units borders, 16 – hydrochemical regions (codes as in Fig. 3).

terenie wydzielono 36 obszarów, których granice stanowią lokalne działy wodne. Wszystkie profile pomiarowe rzek wyznaczono powyżej granicy tarasów akumulacyjnych doliny Dunajca. Generalnie wartości odpływu jednostkowego potwierdzają słabe zawodnienie terenu. Przedziały modułu odpływu zawarte są w granicach od poniżej 0,5 l/s-km² do ponad 3,0 l/s-km² (Ryc. 2).

Poza tym wydzielono strefę głębokiego drenażu, w której praktycznie brak powierzchniowych przejawów wód. Pomimo mozaikowego rozkładu modułów odpływu zarysowują się pewne prawidłowości. Najniższym odpływem charakteryzują się obszary międzyrzeczy, bezpośrednio graniczące z dolinami Dunajca i Krośnicy. Spośród 36 zlewni cząstkowych aż 17 charakteryzuje się modulem niższym od 0,5 l/s-km². Do obszarów o najwyższym odpływie jednostkowym wód podziemnych należą: Głęboki Potok uchodzący do Zbiornika Sromowieckiego oraz zespół graniczących ze sobą zlewni potoków: Białego, Łonnego i Pienińskiego. Potok Pieniński w górnych partiach zlewni charakteryzuje się wysokim uźródleniem, natomiast od połączenia z prostopadłe do niego uchodzącym dopływem Hulińskiego Potoku – podobnie jak w obszarze towarzyszącym przełomowi Dunajca – jest całkowicie pozbawiony powierzchniowych przejawów wód w postaci źródeł. W dolnym biegu tego potoku głęboko wcięta i wąska dolina ograniczona jest stromymi ścianami z wapieni rogowcowych i radiolarytów.

Mniej urozmaiconym reliefem charakteryzuje się zlewnia Białego Potoku, chociaż jej obszary źródłiskowe położone są również w najwyższych partiach Pienin. Analogiczną wartość modułu odpływu zlewni Potoku Łonnego, którego obszary źródłowe położone są znacznie niżej (pole nr 25), tłumaczyć można zasilaniem spoza obszarów zlewni powierzchniowej, a także występowaniem w podłożu „wyspy” radiolarytów i wapieni rogowcowych pienińskiego pasa skałkowego. Przypuszczać należy, że podwyższone wartości odpływu w polach 21 i 23 spowodowane są również niezgodnością powierzchniowych i podziemnych wododziałów, co wymaga szczegółowych badań hydrogeologicznych dotyczących ewentualnych podziemnych przepływów krasowych. Pewien wpływ może mieć również ogólna tendencja przepływu wód podziemnych w kierunku północno-wschodnim do doliny Dunajca. Nieco niższy odpływ w granicach 2,5–3,0 l/s-km² stwierdzony w polu nr 13 spowodowany jest predyspozycją tektoniczną Straszego Potoku wykorzystującego przebieg dyslokacji o kierunku N-S.

Dużą rolę w kształtowaniu modułu odpływu podziemnego odgrywa morfologia terenu. Można się tu posłużyć przykładem zlewni Macelowego Potoku. Cieki Kirowy i Czarny inicjujące ten potok, w obrębie pasma pienińskiego charakteryzują się odpływem przekraczającym 3 l/s-km², podczas gdy dla całej zlewni po przekrój hydrometryczny nr 315 obejmującej również podgórski poziom zrównania wynosi 1,9 l/s-km². Podobne



Ryc. 3. Jakość wód Pienińskiego Parku Narodowego i obszarów przyległych.

Hydrochemiczne opróbowanie wód: 1 – źródło, 2 – studnia, 3 – wody powierzchniowe, 4 – kontrolny pomiar chemizmu, bakteriologii i BZT₅ z dn. 17.05.1999 r. Obiekty gospodarki wodno-ściekowej: 5 – ujęcie wodociągowe, 6 – oczyszczalnia ścieków, 7 – miejsce zrzutu ścieków oczyszczonych. Potencjalne ogniska zanieczyszczeń: 8 – wysypiska śmieci, 9 – stacja paliw, 10 – produkcja materiałów budowlanych, 11 – cmentarze, 12 – przystań flisacka, 13 – schronisko PTTK. Inne objaśnienia: 14 – granica Pienińskiego Parku Narodowego, 15 – symbole rejonów hydrochemicznych, 16 – wskaźniki bakteriologiczne: a – wskaźnik Coli, b – wskaźnik Coli typu fekalnego, c – ilość kolonii bakterii w 1 ml wody na agarze po 24 h w temperaturze 37°C, d – ilość kolonii bakterii w 1 ml wody na agarze po 72 h w temperaturze 20°C. * – wartość dopuszczalna.

Water quality in the Pieniny National Park and adjacent areas.

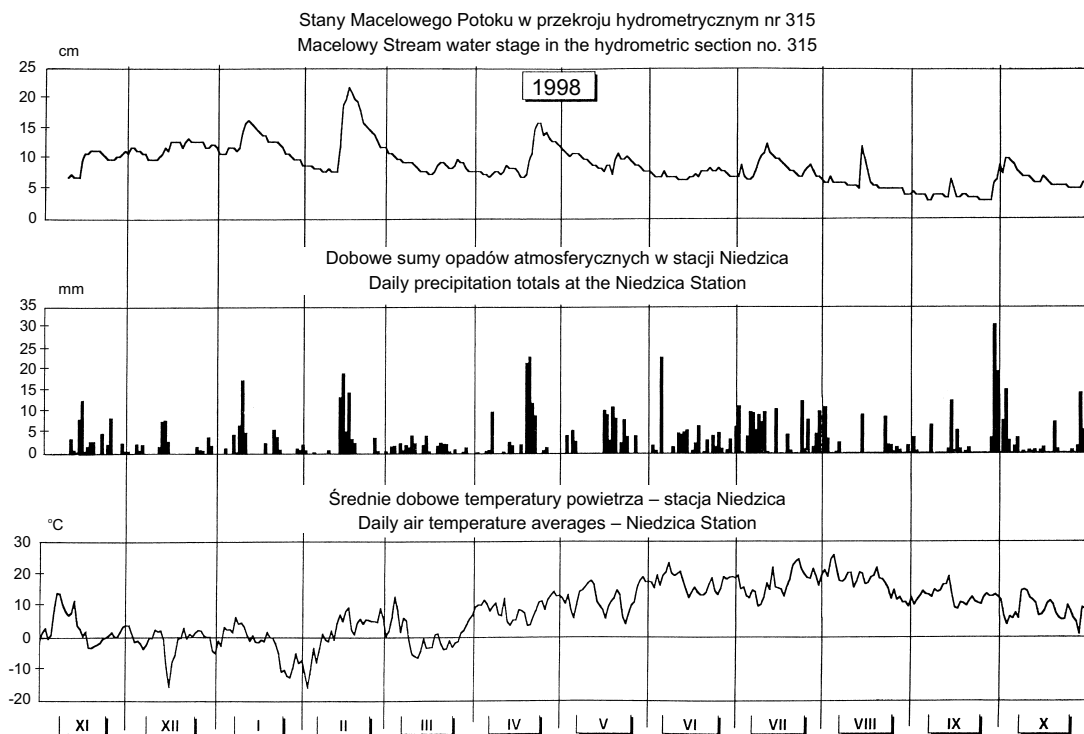
Hydrochemical water sampling: 1 – spring, 2 – well, 3 – surface waters, 4 – control measurement of chemistry, bacteriology and BOD₅ on 17th July, 1999. Water and waste management objects: 5 – water intakes, 6 – sewage treatment plants, 7 – treated waste dropoff points. Potential pollution sources: 8 – landfills, 9 – fuel station, 10 – construction materials production, 11 – cemeteries, 12 – rafting port, 13 – PTTK hostel. Other explanations: 14 – Pieniny National Park border, 15 – codes of hydrochemical regions, 16 – bacteriological indices: a – coli titre, b – fecal coli titre, c – number of bacterial colonies per 1 ml of water on agar-agar after 24 h in 37°C, d – number of bacterial colonies per 1 ml of water on agar-agar after 72 h in 20°C * – permitted value.

Tabela I. Zestawienie wyników kontrolnych badań laboratoryjnych w wytypowanych punktach hydrogeologicznych z 17 maja 1999 r.
Record-sheet of monitoring lab analyses of water samples from selected hydrogeological points, taken on May 17th, 1999.

Nr punktu wg Ryc. 3	Lokalizacja	Temperatura		Przewodność elektryczna właściwa [µS/cm]	Odczyn [pH]	Azotany [mg/dm ³]	Wskaźniki zanieczyszczeń organicznych			Wskaźniki bakteriologiczne			
		powietrza [°C]	wody [°C]				tlen rozpuszczony [mgO ₂ /dm ³]	BZT5 [mgO ₂ /dm ³]	Utlenialność [mgO ₂ /dm ³]	Wskaźnik Coli typu fekalnego	Liczba koloni bakterii w 1 ml wody na agarze po 72 h w 37°C	Liczba koloni bakterii w 1 ml wody na agarze po 24 h w 37°C	
													>7000
I	Głęboki Potok przy ujściu do Zbiornika Sromowieckiego	15	10,1	424	8,05	5,2	10,28	0,44	1,9	1540	60	1130	82
II	Dunajec poniżej zapory w Sromowcach Wyżnych	15	9,0	306	8,06	6,4	10,80	1,60	2,8	>7000	140	780	120
III	Dunajec poniżej wsi Sromowce Niżne	15	10,8	309	7,42	5,8	11,94	1,94	3,5	>2400	300	7600	1700
IV	Macelowy Potok przy granicy Pienińskiego Parku Narodowego	15	10,1	421	8,27	5,2	10,24	0,78	2,0	350	90	850	64
V/304	Źródło Kotłowego Potoku	15	6,9	500	7,60	2,9	10,16	1,16	1,4	0	0	10	6
VI	Macelowy Potok przy ujściu do Dunajca	15	12,9	439	8,17	5,0	10,20	0,94	2,6	>2400	420	290	220
VII	Dunajec powyżej ujścia Pienińskiego Potoku	15	9,5	311	8,44	5,5	10,14	0,55	1,7	>2400	800	5300	310
VIII	Pieniński Potok przy ujściu do Dunajca	15	6,9	388	8,16	9,2	11,34	1,44	2,9	260	0	340	180
IX	Dunajec powyżej ujścia Potoku Ociemnego (granica PPN)	14	11,8	301	7,90	5,4	11,60	1,12	2,9	2400	60	1800	215
X/466	Źródło koło Hałuszowej (podnóże Góry Groni)	14	7,6	447	7,47	9,3	8,88	0,55	1,0	0	0	30	2
XI	Biały Potok przy granicy Pienińskiego Parku Narodowego	14	7,0	387	7,95	7,0	10,66	0,40	1,5	750	0	440	94
XII	Biały Potok przy ujściu do Krośnicy	14	8,0	432	8,04	10,3	10,20	1,66	2,3	>240000	4800	2600	1880

Tabela II. Metody oznaczania parametrów fizyko-chemicznych wód stosowane w badaniach wskaźnikowych.
Methods of notations for physico – chemical parameters applied in indicator research.

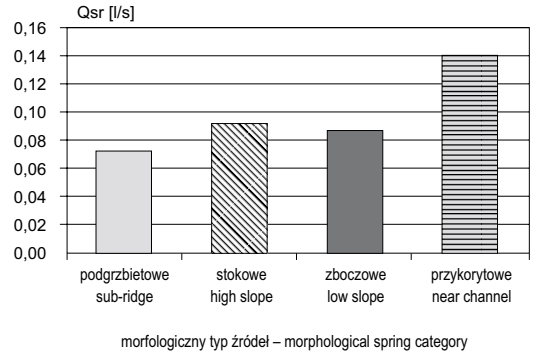
Parametry	Metoda oznaczeń	Podstawowe założenia	Aparatura	Dokładność pomiaru
Odczyn pH	elektrometryczna	pomiar siły elektrometrycznej z automatyczną kompensacją temperatury, elektroda szklano-chloro-srebrowa, kalibrowana przy użyciu roztworów buforowych	mikrokomputerowy pH-metr CP-315 produkcja Elmetronu	$\pm 0,05$ jednostki pH
Przewodność elektrolityczna właściwa ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	konduktometryczna	pomiar powiązany z automatyczną kompensacją polegającą na przeliczaniu przewodnictwa do standardowej temperatury 25°C	mikrokomputerowy konduktometr CC-317 produkcja Elmetronu	0,5%
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	elektrometryczna i termometrem rtęciowym	stosowany czujnik współpracujący z urządzeniami: CP-315, CC-317 nie wymagający kalibracji	sonda z elektronicznym czujnikiem temperatury MT 100	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$



Ryc. 4. Reakcja wód Macelowego Potoku na opady atmosferyczne i temperaturę powietrza.
Macelowy Stream response on rainfall and air temperature.

zależności stwierdzono również w innych potokach. Tak więc, aby uściślić wartość zasobów wodnych dla Pienińskiego Parku Narodowego, należałoby przeprowadzić pomiary przepływu przy niżówkowych stanach rzek w przekrojach wyznaczonych przebiegiem granicy parku. Wpływ morfologii terenu uwidacznia się również w rozkładzie wydajności źródeł odwadniających Pieniny Właściwe oraz podgórski poziom zrównania. Generalnie wszystkie źródła charakteryzują się niskimi wydajnościami, od poniżej setnych części l/s do 0,5 l/s, sporadycznie powyżej tej wartości. Zgodnie z klasyfikacją Meinzera (Pazdro i Kozerski 1990) należą one do klas VI, VII i VIII.

Rozkład wydajności wszystkich badanych źródeł analizowano w podziale na dwie subpopulacje. Pierwsza obejmowała teren chroniony przez Pieniński Park Narodowy, druga obszary przyległe. Graficzny obraz tych zależności ilustrują załączone diagramy (Ryc. 5). W obu przypadkach najmniej licznie reprezentowane były

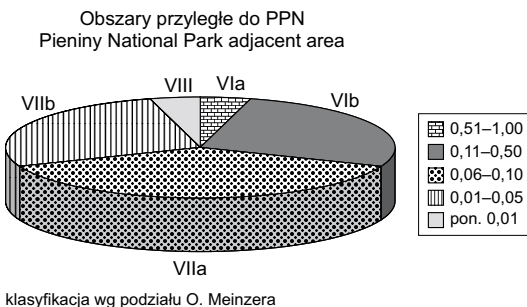
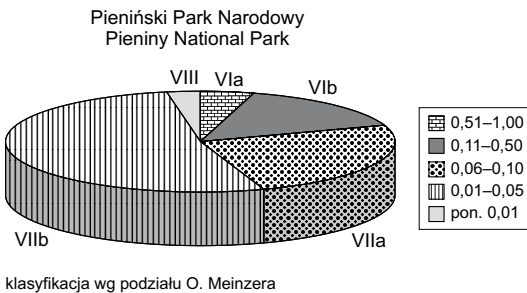


Ryc. 6. Zależność wydajności źródeł od sytuacji morfologicznej. Correlation of spring yield and the morphological situation.

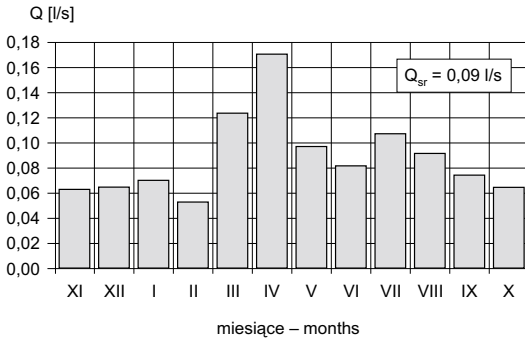
skrajne przedziały, to jest źródła należące do klasy VIII i VIa. Procentowy udział pozostałych klas wskazuje na wyraźną tendencję nieco wyższych wydajności w obszarach przyległych do parku. Jest to spowodowane szybszym drenażem wód podziemnych w obrębie wyniesionych części masywu, przy mniejszych spadkach hydraulicznych w obszarach podgórskich. Na terenie parku zdecydowanie dominują źródła o wydajności 0,01–0,05 l/s, natomiast u podnóża masywu najliczniej reprezentowany jest przedział 0,06–0,1 l/s. Fakt ten potwierdza również porównanie średnich wydajności źródeł reprezentujących różne położenie morfologiczne (Ryc. 6).

Stosując za Dynowską (Dynowska i Tłałka 1982) podział źródeł na podgrzbietowe, stokowe, zboczowe i przykorytowe uzyskuje się następujący obraz. Źródła podgrzbietowe o wyłącznie meteorycznym zasilaniu, krótkich drogach krążenia i szybkim drenażu wód charakteryzują się najmniejszymi wydajnościami. Stokowe i zboczowe, wzbogacone przez wody pochodzące z drenażu górnych partii masywu, wykazują nieco wyższe wydajności, natomiast źródła przykorytowe, w których zasilaniu bierze udział cały analizowany teren, należą do najbardziej wydajnych.

Charakterystyka ta oparta została na pomiarach obejmujących sezon letnio-jesienno, nie daje więc informacji odnośnie zmian wydajności w skali roku. Aby wypełnić tę lukę, na rycinie nr 7 podano średnie miesięczne wartości wydatku źródła nr 49 (obserwowanego przez okres ośmiu lat), zatopionego obecnie przez wody Zbiornika



Ryc. 5. Rozkład wydajności źródeł w l/s. Yield of springs distribution [l/s].



Ryc. 7. Średnie miesięczne wydajności źródła nr 49 z okresu 1975–1982.

Average monthly yield of spring no. 49 (1975–1982).

Czorsztyńskiego. Średnia wydajność z wielolecia 0,09 l/s kwalifikuje źródło do klasy VIIa, a maksima wiosenne wskazują na reżim roztopowo-opadowy.

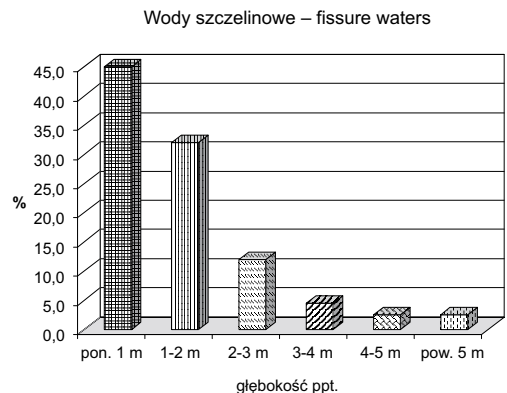
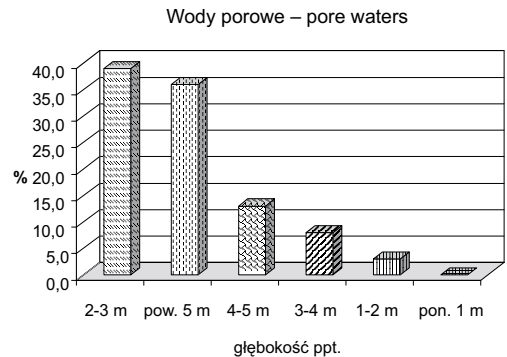
Źródła stanowią nieodłączny element środowiska. Szczególnie licznie występują one w obszarach górskich, co odzwierciedla się w wartościach wskaźników krenologicznych. Pieniński Park Narodowy należy do obszarów o wysokim wskaźniku uźródlenia. Na podstawie przeprowadzonej inwentaryzacji w latach 1994–1998 kształtuje się on w granicach 7,2 źr./km². Porównanie uzyskanej wartości z licznymi publikacjami Kostrakiewicza (1965, 1991a, b, 1992, 1996) utrudnia fakt analizowania przez tego autora źródeł Pienińskiego Parku Narodowego łącznie z fragmentami jednostki magurskiej lub Karpat Wewnętrznych.

Przy rozpoznaniu regionalnych warunków hydrogeologicznych cennych informacji dostarczają również studnie kopane, szczególnie jeżeli objęte są obserwacjami stacjonarnymi. W niniejszym opracowaniu, podobnie jak w przypadku źródeł, do interpretacji brano pod uwagę wyniki badań z okresu jesienno.

Generalnie głębokość występowania zwierciadła wód podziemnych jest zróżnicowana od poniżej 1 m do 5 m, sporadycznie 8 m ppt. Największa liczba studni kopanych reprezentujących wody porowe skupiona jest na tarasach Dunajca. Zdecydowanie dominują tu przedziały głębokości 2–3 m i powyżej 5 m (Ryc. 8). Powierzchniowy

ich rozkład wskazuje, że na odcinku od Zbiornika Sromowieckiego do Sromowiec Średnich włącznie, głębokość do zwierciadła wód gruntowych nie przekracza 3 m. Następnie aż do Krościenka ulega zróżnicowaniu z tendencją wzrostu głębokości lokalnie nawet do 6–8 m. Na pozostałym terenie, gdzie ujmowane są wody szczelinowe niemal wyłącznie poza granicami parku, wyraźnie dominują studnie, w których zwierciadło występuje bardzo płytko. W 75% tych ujęć kształtuje się ono poniżej 2 m.

Nawiązując do rejonizacji hydrogeologicznej Karpat fliszowych (Małecka i Murzynowski 1978) oraz Podhala i obszarów przyległych (Małecka 1982), w obrębie analizowanego terenu, przyjmując jako główne kryterium podziału środowisko występowania wód podziemnych, wyróżniono trzy jednostki hydrogeologiczne:



Ryc. 8. Głębokość do zwierciadła wód gruntowych ujmowanych studniami kopanymi.

Depth of groundwater table in man-made wells.

– **jednostkę dolin rzecznych**, gdzie występują wody porowe w aluwjach doliny Dunajca i dolnego odcinka doliny Krośnicy. Warstwę wodonośną stanowią tu żwiry i otoczaki z domieszką piasków i glin o korzystnych parametrach hydrogeologicznych, o czym świadczą współczynniki filtracji rzędu $10^{-3} - 10^{-4}$ m/s;

– **jednostkę Krośnicy**, gdzie wody szczelinowe występują głównie w utworach płaszczowiny magurskiej. Środowisko wód podziemnych stanowią spękane piaskowce fliszowe o zróżnicowanych miąższościach ławic ze znacznym udziałem łupków i margli. Dominuje tu spływ powierzchniowy nad infiltracją. O słabych własnościach kolektorskich i eksploatacyjnych świadczą współczynniki filtracji rzędu $10^{-5} - 10^{-6}$ m/s. Głębokość występowania wód gruntowych jest zróżnicowana od poniżej 1 m do ponad 5 m ppt., ze zdecydowaną dominacją do 2, rzadziej 3 m;

– **jednostkę pienińską**, gdzie środowisko wód podziemnych stanowią spękane wapienie rogowcowe, bulaste i krynoidowe, piaskowce, margle i łupki serii skałkowych. Wysoki stopień zaangażowania tektonicznego, liczne fałdy i łuski pocięte gęstą siecią uskoku stwarzają skomplikowane warunki krążenia wód. Intensywny spływ powierzchniowy, drenaż masywu przez głęboko wciętą dolinę Dunajca oraz słabe własności kolektorskie utworów są przyczyną małej zasobności jednostki w wody podziemne. Potwierdzają to niskie wartości modułu odpływu gruntowego oraz wydajności źródeł.

Dalszego podziału na rejony hydrochemiczne dokonano na podstawie szczegółowej analizy wyników badań wskaźnikowych, wybranych parametrów fizyko-chemicznych wód oraz ich składu jonowego i mineralizacji. W konsekwencji wody porowe jednostki dolin rzecznych zaliczono do rejonu A, wody szczelinowe jednostki Krośnicy do rejonu B₁, a jednostki pienińskiej do rejonów B₂ i B₃.

Chemizm wód krążących w masywie

Chemizm wód podziemnych jest efektem współdziałania wielu czynników:

– zmian zachodzących w składzie jonowym i mineralizacji wód opadowych,

– ilości i charakterze doprowadzanej do podłoża suchej depozycji,

– zmian zachodzących w infiltracji efektywnej,

– podatności środowiska wodnego na ługowanie.

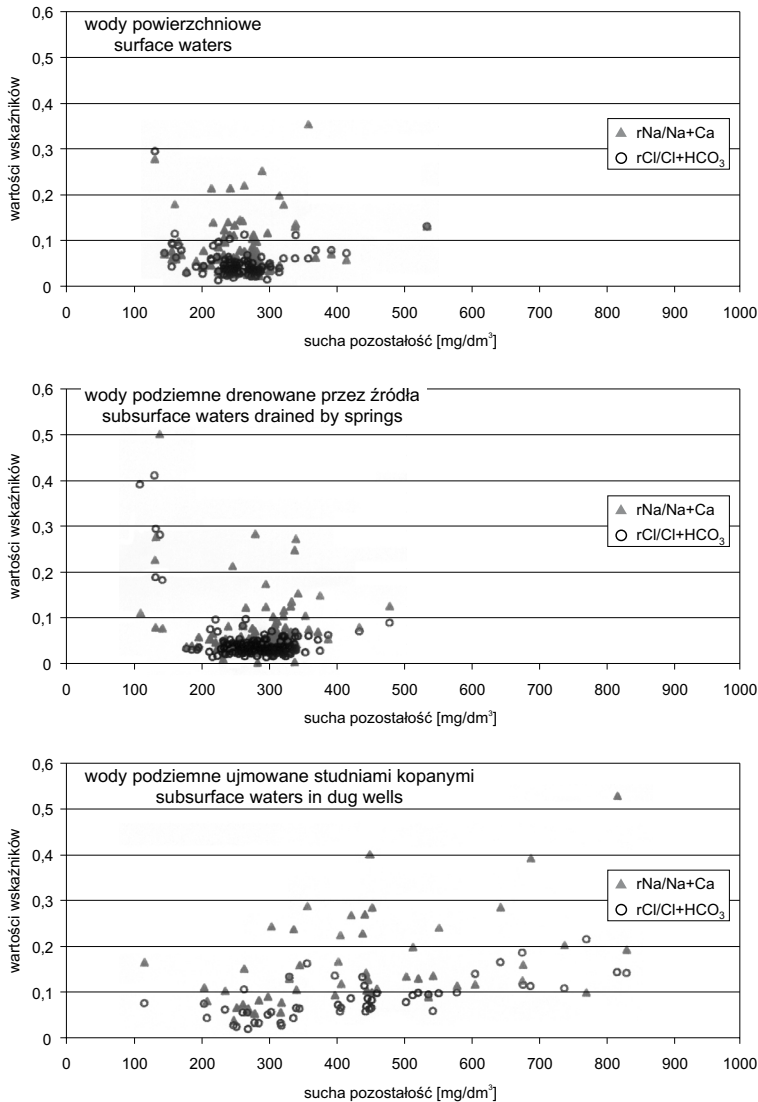
Najintensywniej zmiany te zachodzą w strefie aeracji, gdzie przesączające się wody są między innymi odpowiedzialne za rozpraszanie substancji dostarczanych z powierzchni do podłoża i dalszą ich migrację przez strefę nawietrzenia do wód gruntowych.

Obok składników mineralnych w postaci jonów, wody zawierają również rozpuszczone związki organiczne i kompleksy organiczno-mineralne. Jony zawarte w roztworze dążą do uzyskania stanu równowagi ze wszystkimi elementami środowiska hydrogeochemicznego. Wg Marschnera i in. (Małecki 1998) równowaga ta kształtowana jest głównie przez procesy rozpuszczania i wytrącania, sorpcji wymiennej oraz reakcji utleniania i redukcji. Istotne znaczenie mają również procesy związane z rozkładem substancji organicznej, a także selektywnym pobieraniem jonów przez rośliny.

Dysponując liczną populacją oznaczeń składu jonowego i mineralizacji wód podjęto próbę określenia udziału przyrodniczych uwarunkowań oraz wpływu antropopresji na chemizm wód powierzchniowych i podziemnych w podziale na źródła i studnie kopane. Analizie poddano wartości dwu wskaźników hydrochemicznych r_{Na^+} / $(Na^+ + Ca^{++})$ i r_{Cl^-} / $(Cl^- + HCO_3^-)$. Według Gibbsa (Appelo i Postma 1993) wskaźniki te charakteryzują stosunek stężeń resztkowych (Na^+ , Cl^-) do dominujących (Ca^{++} , HCO_3^-). Uzyskane wyniki ilustruje rycina 9.

Wody powierzchniowe i podziemne drenowane przez źródła wykazują znaczne pokrewieństwo hydrochemiczne, zarówno pod względem wartości analizowanych wskaźników jak i stopnia ich mineralizacji. W przypadku wód ujmowanych studniami kopanymi, ze względu na wzrost koncentracji sodu i jonu chlorkowego oraz wyraźnie wyższą mineralizację wód, stopień rozproszenia punktów jest znacznie większy.

Potwierdzeniem tych prawidłowości jest udział makroskładników najbardziej podatnych



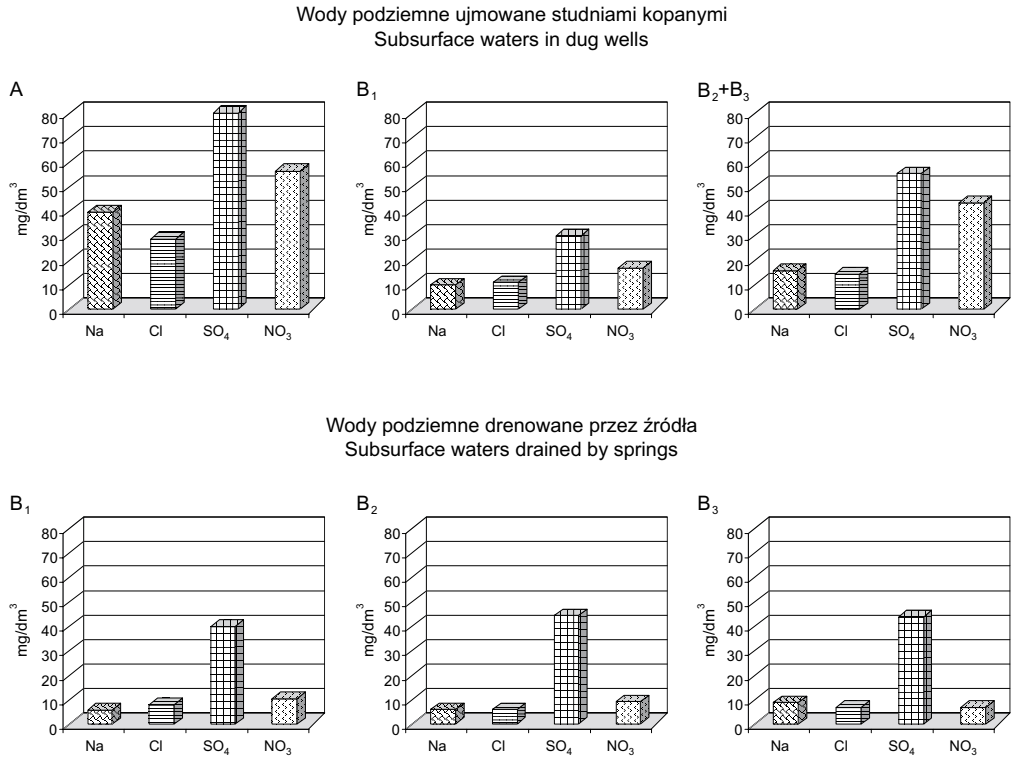
Ryc. 9. Wartości wskaźników $rNa/Na+Ca$ i $rCl/Cl+HCO_3$ w zależności od mineralizacji wód. Values in relation to water mineralization. $rNa/Na+Ca$ and $rCl/Cl+HCO_3$.

na przekształcenia antropogeniczne w wodach drenowanych przez źródła oraz ujmowanych studniami kopanymi (Ryc. 10). Poza jonami Na^+ i Cl^- uwzględniono również siarczany i azotany, przy czym analizie poddano wartości uśrednione w nawiązaniu do wydzielonych rejonów hydrochemicznych. Przy analogicznym udziale rozpatrywanych makroskładników w wodach drenowanych przez źródła, w studniach notowane

są znacznie wyższe koncentracje, szczególnie w wodach porowych tarasów akumulacyjnych – rejon A.

Hydrochemiczne pokrewieństwo wód drenowanych przez potoki i źródła oraz zmiany składu jonowego i mineralizacji wód ujmowanych studniami kopanymi w sposób czytelny ilustrują diagramy kołowe Udflufta (Ryc. 3).

Jednym z parametrów najwyraźniej różnicują-



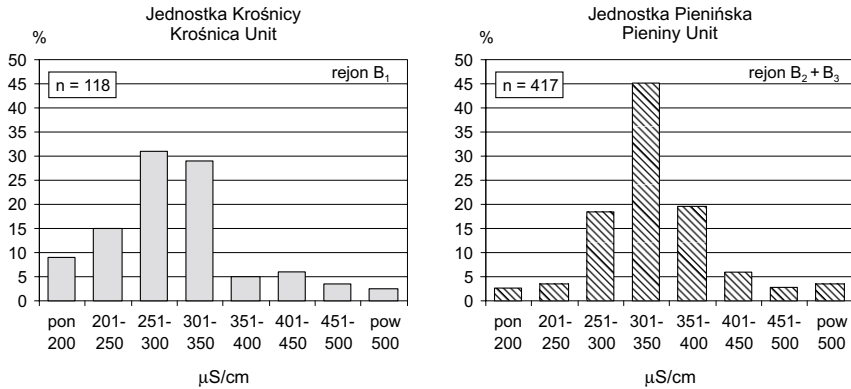
Ryc. 10. Makroskładniki najbardziej podatne na przekształcenia antropogeniczne.
Macroelements most prone to anthropogenic impact.

cych wody, jest ich konduktywność pozostająca w ściślejszej korelacji z ogólną mineralizacją wód. Przydatność tego rodzaju badań we wstępnej fazie rozpoznania terenu jest niepodważalna i ma tę przewagę, że oznaczenia wykonywać można bezpośrednio w terenie.

Ogólnie z ponad 1000 oznaczeń, połowa dotyczyła wód powierzchniowych charakteryzujących profile podłużne potoków odwadniających Pieniński Park Narodowy i obszary przyległe. W tym przypadku poddano analizie uzyskane wyniki w nawiązaniu do wydzielonych jednostek hydrogeologicznych reprezentujących wody szczelinowe w obrębie rejonu B₁ i rejonu B₂ + B₃ (Ryc. 11). Przy analogicznej liczbie przedziałów, od poniżej 200 do ponad 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, w obrębie jednostki Krośnicy zaznacza się wyraźne przesunięcie klas w kierunku wartości niższych. Do najliczniej reprezentowanych należą tu przewodności od 200 do 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$, z dominantą 200–300

$\mu\text{S}/\text{cm}$, podczas gdy w jednostce pienińskiej – 250 do 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ z wyraźną dominacją wartości 300–350 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Potwierdza to zdanie Bobera i Oszczytki (1963) o nieco wyższej mineralizacji wód pienińskiego pasa skałkowego w porównaniu z wodami fliszu magurskiego. Jak widać prawidłowość ta zaznacza się również w wodach powierzchniowych.

Pomiarami przewodności elektrolitycznej właściwej objęto również wody podziemne ze źródeł i studni. Przestrzenny rozkład uzyskanych wartości mieszczących się w zakresie od poniżej 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ do ponad 600, a nawet 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ potwierdził fakt, iż najwyższą przewodnością charakteryzują się wody porowe tarasów Dunajca – rejon A. W pozostałych rejonach reprezentujących głównie wody szczelinowe zaznacza się wyraźny podział na jednostkę Krośnicy – rejon B₁ i jednostkę pienińską – rejon B₂ i B₃. Fakt ten wyraźnie ilustruje przebieg krzywych kumulacyjnych ogól-

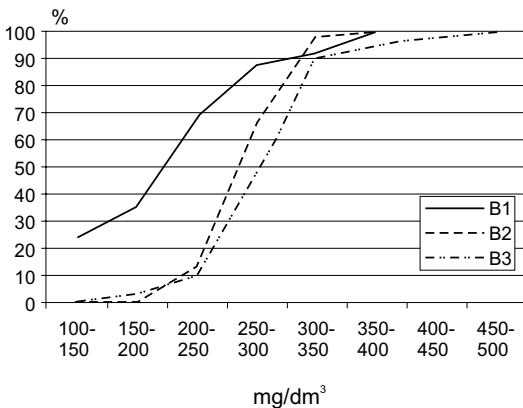


Ryc. 11. Rozkład przewodności elektrolitycznej właściwej wód powierzchniowych.
Distribution of specific electrolytical conductivity of surface waters.

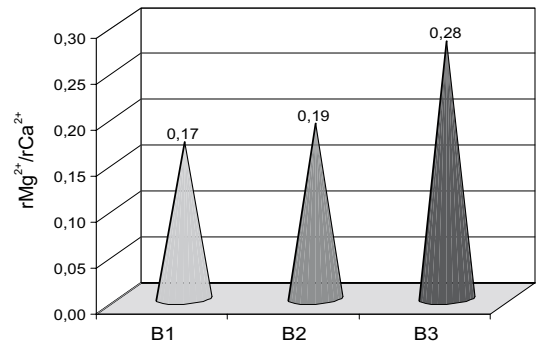
nej mineralizacji wód drenowanych przez źródła (Ryc. 12). Generalnie najniższą przewodnością i mineralizacją charakteryzują się wody rejonu B₁.

W obrębie jednostki pienińskiej, mimo zbliżonej charakterystyki hydrochemicznej, wyróżnić można dwa obszary. Rejon B₂ obejmujący najwyższe partie Pienin z dominacją wapieni rogowcowych, bulastych i krynoidowych oraz rejon B₃, gdzie przeważają znacznie podatniejsze na ługowanie margle, piaskowce i łupki. W rejonie tym, obejmującym głównie obszar pogórskiej powierzchni zrównania, występuje wyraźna tendencja wzrostu zawartości rozpuszczonych składników

stałych. Najwyraźniej zaznacza się to w przypadku magnezu, o czym świadczy wyższa wartość wskaźnika rMg/rCa (Ryc. 13) oraz dominacja wód typu HCO₃-Ca-Mg.



Ryc. 12. Krzywe kumulacyjne ogólnej mineralizacji wód drenowanych przez źródła.
Cumulative curves of total mineralization of waters drained by springs.



Ryc. 13. Porównanie wskaźników hydrochemicznych rMg/rCa w wodach podziemnych drenowanych przez źródła.
Comparison of hydrochemical rMg/rCa indices in groundwaters drained by springs.

Zdecydowana przewaga wód wodorowęglanowo-wapniowych w rejonie B₂ oraz wodorowęglanowo-wapniowo-magnezowych w rejonie B₃ znajduje swoje odbicie w składzie jonowym Dunajca, gdzie wody należą do 9 i 18 klasy hydrochemicznej. Poza tym wyniki analiz kontrolnych z 17 maja 1999 r. dotyczące opróbowania wód w czterech przekrojach hydrometrycznych rzeki na odcinku od Zbiornika Sromowieckiego do uj-

ścia Potoku Ociemnego wykazały, że wpływ osiedli wiejskich zaznacza się lokalnym wzrostem sodu, siarczanów i chlorków.

Jako dodatkowe kryterium oceny jakości wód przyjęto wskaźniki tlenowe, pozwalające na określenie zawartości w wodzie związków organicznych. Miarą tego rodzaju zanieczyszczeń jest wskaźnik BZT₅, określający biochemiczne zapotrzebowanie tlenu potrzebnego do utlenienia występujących w wodzie związków organicznych.

Mimo, iż w opracowaniach Państwowej Inspekcji Ochrony Środowiska (Kumięga 1994; Wieciech-Kumięga 1995) wody Dunajca w ocenie ogólnej są uznane za pozaklasowe, wyniki kontrolnego opróbowania wybranych potoków odwadniających Pieniński Park Narodowy, Dunajca oraz dwu źródeł (nr 304, nr 466), kwalifikują wody do I klasy czystości. Wartości BZT₅ zawarte od 0,4 do 1,94 mg O₂/dm³ są znacznie niższe od dopuszczalnej granicy 4 mg O₂/dm³.

Największym zagrożeniem dla jakości wód jest ich bakteriologia. Bakterie mogą utrzymywać się w wodzie przy życiu przez kilka lub kilkanaście tygodni, stanowiąc poważne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego. Wyniki oznaczeń czterech podstawowych wskaźników bakteriologicznych podane graficznie na rycinie 3 wskazują, że spośród analizowanych punktów hydrogeologicznych tylko źródła spełniają warunki stawiane wodom pitnym. Wody powierzchniowe zarówno Dunajca jak i jego dopływów wielokrotnie przekraczają dopuszczalne normy. Zważywszy, że bakterie grupy coli typu fekalnego w 100 cm³ wody w ogóle nie mogą występować w wodach używanych do celów komunalnych, stan wód powierz-

chniowych, a także wielu studni kopanych należy uznać jako niezadowalający. Charakterystykę tę w pełni potwierdzają wyniki badań wód zasilających Zbiornik Czorszyński (Małecka i in. 1996).

Ważnym parametrem jakości wód i czułym wskaźnikiem ich antropogenicznego przekształcenia mogą być również podwyższone stężenia niektórych mikroskładników. W związku z powyższym latem 1998 r. wykonano oznaczenia próbek wody z kilku wytypowanych źródeł położonych na obszarze polskiej części pienińskiego pasa skałkowego, poczynając od źródła kontrolnego w Maruszyńcu na zachód od badanego terenu, aż po źródło nr 304 w zlewni Kotłowego Potoku na obszarze Pienińskiego Parku Narodowego oraz w próbce z Dunajca, pobranej bezpośrednio poniżej Zespołu Zbiorników Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne. Spośród oznaczonych 19 mikroskładników, w żadnej z badanych próbek, nie stwierdzono w stężeniach umożliwiających ilościowe oznaczenie aż 14 pierwiastków. Dotyczyło to: arsenu, boru, chromu, fosforu, glinu, kadmu, kobaltu, litu, miedzi, molibdenu, niklu, ołowiu, tytanu, wanału. W tabeli III podano jedynie te pierwiastki, które pojawiły się w stężeniach umożliwiających ich oznaczenie przy stosowanych metodach analitycznych. Były to: bar, żelazo, mangan, stront i cynk. W źródle nr 304, z terenu Pienińskiego Parku Narodowego, w oznaczalnych stężeniach występowały: bar, stront i cynk. Pierwsze dwa z wymienionych pierwiastków są składnikami pochodzenia typowo geogenicznego. Mimo, iż ich zawartość zbliżona jest do wartości przecięt-

Tabela III. Porównanie zawartości mikroskładników w wodach podziemnych i powierzchniowych.
Comparison of microelements content in ground and surface waters.

L.p.	Opróbowanie	liczba analiz	Ba [mg/dm ³]	Fe [mg/dm ³]	Mn [mg/dm ³]	Sr [mg/dm ³]	Zn [mg/dm ³]
1	wybrane źródła pienińskiego pasa skałkowego	Min.	0,04	< 0,01	< 0,002	0,142	< 0,005
		Śr.	0,173	0,04	0,016	0,222	0,006
		Max.	0,434	0,16	0,1	0,393	0,009
2	źródło nr 304 z terenu PPN	1	0,156	< 0,01	< 0,002	0,202	0,005
3	Dunajec poniżej Zbiornika Sromowieckiego (punkt II)	1	0,036	0,02	0,012	0,137	< 0,005

nej, charakterystycznej dla źródeł pienińskiego pasa skałkowego, zgodnie z klasyfikacją wód podziemnych dla potrzeb monitoringu (Błaszyk i Macioszczykova 1993) wody tego źródła należy zaliczyć do klasy II – wód o średniej jakości. Pojawienie się cynku mogłoby wskazywać na działanie czynnika antropogenicznego. Należy jednak zauważyć, iż jego stężenie wyniosło tu zaledwie $0,005 \text{ mg/dm}^3$, czyli dokładnie tyle, ile wynosi granica oznaczalności. Jest to wartość o cały rząd wielkości niższa od podawanej przez Kostrakiewicza (1991a) dla źródeł pienińskich ($0,03\text{--}0,13 \text{ mg/dm}^3$). W przypadku pozostałych 7 źródeł reprezentujących wody szczelinowe pienińskiego pasa skałkowego (już poza granicami Parku), sporadycznie i w niewielkich stężeniach pojawia się żelazo i mangan.

Na tle podanej charakterystyki komentarza wymaga fakt niskich koncentracji mikroskładników w próbce wody nr II pobranej z Dunajca. W rejonach, gdzie skład chemiczny wód kształtowany jest głównie pod wpływem czynników geogenicznych, stężenia rozpuszczonych składników w wodach powierzchniowych z reguły są niższe niż w wodach podziemnych. Jest to wynikiem bezpośredniego, szybkiego spływu wód opadowych, w których mikroskładniki występują w znikomych koncentracjach. Poza tym nie bez znaczenia jest uruchomienie nowoczesnej oczyszczalni ścieków w Nowym Targu i generalna poprawa gospodarki wodno-ściekowej na terenie górnej części zlewni Dunajca.

KIERUNKI I ZAKRES DALSZYCH BADAŃ

Przeprowadzone na terenie Pienińskiego Parku Narodowego i obszarów przyległych badania terenowe i laboratoryjne pozwoliły na wstępną charakterystykę hydrogeologiczną terenu oraz określenie aktualnego stanu jakości wód. Uzyskane wyniki dają podstawę do planowania dalszych badań, pozwalających na określenie dynamiki zmian stanów wód powierzchniowych i podziemnych oraz wydajności źródeł w cyklu rocznym i wieloletnim.

Reżim hydrologiczny i hydrogeologiczny parku i jego otuliny, ze względu na znaczne wyniesienie masywu nad doliną Dunajca, meteoryczne

zasilanie i szybki obieg wód drenowanych przez potoki i źródła sprawia, że mamy tu do czynienia z obszarem charakteryzującym się dużą indywidualnością przyrodniczą. Stąd też bezpośrednie przenoszenie wyników badań monitoringowych z innych obszarów na teren Pienińskiego Parku Narodowego, może prowadzić do błędnych wniosków.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest niewątpliwie organizacja kompleksowego monitoringu środowiska w postaci stacji badawczej, która poza parametrami klimatycznymi obejmowałaby kontrolę zanieczyszczenia atmosfery oraz chemizmu wód opadowych, przesiąkowych i podziemnych. Organizacja takiego poligonu doświadczalnego wymaga dużego wysiłku organizacyjnego oraz wysokich nakładów finansowych.

Innym wariantem, znacznie skromniejszym, może być wytypowanie „zlewni eksperymentalnych”, w których prowadzono by obserwacje stanów wód powierzchniowych w wytypowanych przekrojach hydrometrycznych oraz okresowe badania przepływu na granicy Parku i w przekroju zamykającym zlewnię. Na plan pierwszy wysuwa się tu zlewnia Macelowego Potoku, gdzie od 1998 r. prowadzone są obserwacje wodowskazowe w przekroju hydrometrycznym nr 315 oraz zlewnia Głębokiego Potoku, którego baza drenażowa uległa zmianie na skutek budowy zapory. Tego typu badania pozwoliłyby na dokładniejsze określenie zasobów wód podziemnych Pienińskiego Parku Narodowego oraz charakterystykę reżimu hydrologicznego zlewni. Poza tym wiele ciekawych informacji dostarczyć mogą obserwacje wytypowanych w tym celu źródeł. Poza reakcją wód na czynniki klimatyczne, rytmikę wahań w cyklu rocznym, okresowe opróbowania hydrochemiczne pozwolą na rozpoznanie sezonowej zmienności składu jonowego wód oraz ewentualnych wpływów antropogenicznych. Na rycinie 2 zaznaczono 5 źródeł, które powinny być objęte szczególną ochroną. Kryterium ich wyboru stanowiła niska, w stosunku do otoczenia, temperatura wód oraz wyraźnie zdefiniowany sposób wypływu. Poza tym poniżej źródła nr 304, na terenie zlewni Macelowego Potoku, widoczne są ślady współcześnie tworzącej się martwicy. Sprawą otwartą pozostaje, które z pięciu wytypowa-

nych źródeł można uznać za pomnik przyrody nieożywionej.

W podsumowaniu należy dodać, że z uwagi na znaczne wyniesienie obszaru chronionego przez Pieniński Park Narodowy w stosunku do doliny Dunajca, wpływ budowy zbiornika i pracy elektrowni może się ujawniać na drodze pośredniej, głównie poprzez zmiany parametrów klimatycznych.

LITERATURA

- Appelo C.A.J., Postma D. 1993. Geochemistry, groundwater and pollution. — A.A. Balkema, Rotterdam, Broockfield.
- Birkenmajer K. 1956. Występowanie wód mineralnych na tle budowy geologicznej Szczawnicy. — *Prz. Geol.* **11**: 499–502.
- Birkenmajer K. 1986. Zarys ewolucji geologicznej pienińskiego pasa skałkowego. — *Prz. Geol.*, **34**(6): 293–304.
- Błaszyk T., Macioszykowska A. 1993. Klasyfikacja jakości zwykłych wód podziemnych dla potrzeb monitoringu środowiska. — Wyd. Pań. Insp. Ochr. Środ., Warszawa.
- Bober L., Oszczytko N. 1963. — Charakterystyka hydrochemiczna kontaktu Pienińskiego Pasa Skałkowego z jednostką magurską w okolicach Czorsztyna, Kluszkowiec i Krośnicy. — *Kwart. Geol.*, **7**(3): 549–550.
- Dynowska I. 1979. Ocena przydatności metody Lwowicza do ustalania średniego odpływu podziemnego. — *Czas. Geogr.*, **50**(3): 211–217.
- Dynowska I., Tlałka A. 1982. *Hydrografia*. — PWN, Warszawa.
- Dziewański J. (red.) 1998. Warunki geologiczno-inżynierskie podłoża Zespołu Zbiorników Wodnych Czorsztyn-Niedzica i Sromowce Wyżne im. Gabriela Narutowicza na Dunajcu. — *Studia, Rozprawy, Monografie PAN, Kraków*.
- Gołąb J. 1948. Nowo odkryte wody mineralne w Szczawnicy — *Biul. Pań. Inst. Geol.*, **42**: 116–119.
- Gołąb J. 1952. *Hydrogeologiczne stosunki Szczawnicy (streszczenie pracy)*. — *Biul. Inf. Pań. Inst. Geol.*, **1**.
- Kazimierski B., Małecka D., Rózkowski A. 1999. Cel, metody i wyniki monitoringu wód podziemnych w Polsce. — *Biul. Pań. Inst. Geol.*, **338**: 79–114.
- Kiciński T. 1963. Udział odpływu gruntowego w całkowitym odpływie rzek na przykładzie rzeki górskiej i nizinnej. — *Prace i Studia Kom. Inż. i Gosp. Wod.*, **6**.
- Kille K. 1970. Das verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrig-wasserabflüsse. — *Zeitschr. Deutch. Geol. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem.*
- Klimaszewski M., Starkel L. 1972. *Karpaty Polskie*. [W:] *Geomorfologia Polski*. T. I. — PWN, Warszawa, ss. 21–52.
- Kolago C. 1970. *Mapa hydrogeologiczna Polski*. 1:1 000 000. — Wyd. Geol., Warszawa.
- Korczyński L. 1901. Kilka uwag o wodach alkaliczno-słonych i o wodzie z Krościenka nad Dunajcem. — *Prz. Lek.*, **40**.
- Korczyński L. 1909. Kilka uwag o wodach szczawnickich. — *Pam. Pol. Tow. Balneol.*, **2**.
- Kostrakiewicz L. 1965. *Hydrografia Pienin*. — *Zesz. Nauk. UJ*, **117**, *Prace Geogr.*, **12**: 77–111.
- Kostrakiewicz L. 1991a. Przemiany stosunków krenologicznych na terenie Pienińskiego Parku Narodowego i strefy otulinowej. — *Parki Nar. Rez. Przyr.*, **10**(3/4): 187–194.
- Kostrakiewicz L. 1991b. Charakterystyka fizyko-chemiczna oraz bakteriologiczna wybranych źródeł Pienińskiego Parku Narodowego i jego okolicy. — *Ochr. Przyr.*, **49**(1): 129–139.
- Kostrakiewicz L. 1992. Typologia źródeł pienińskiego pasa skałkowego i jednostki magurskiej. — *Wszechświat*, **93**(3): 62–64.
- Kostrakiewicz L. 1993. Wpływ posuchy atmosferycznej na stosunki hydrogeologiczne Pienińskiego Pasa Skałkowego i jednostki magurskiej. — *Wszechświat*, **94**(2): 31–35.
- Kostrakiewicz L. 1996. Regionalizacja wskaźnika krenologicznego w polskich Karpatach Wewnętrznych. — *Wszechświat*, **97**(3): 61–66.
- Kumięga E. (red.) 1994. Informacja o stanie środowiska w Województwie Nowosądeckim w 1993 roku. — Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Nowym Sączu. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Nowy Sącz, 116 s.
- Łukaszek R., Niedzielski H. 1973. Dokumentacja geologiczno-inżynierska do projektu podstawowego zapory na rzece Dunajec w Czorsztynie–Niedzicy, uzupełniona wg zaleceń KDGI przy CUG. — *PGIBW, „Hydrogeo”*, Kraków.
- Macioszyk T. 1964. *Hydrogeologia źródeł występujących w strefie kontaktu fliszu Podhala z Pienińskim Pasem Skałkowym*. — Uniwersytet Warszawski, Archiwum Instytutu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej.
- Małecka D. 1967. *Hydrogeologia zlewni Leśnicy na tle warunków geologicznych międzyrzecza Białego Dunajca i Białki*. Praca doktorska. — Uniwersytet Warszawski, msk., 179 s.
- Małecka D. 1982. *Mapa hydrogeologiczna Podhala i obszarów przyległych*. Skala 1:100 000. — Wyd. Geol., Warszawa.
- Małecka D. 1985. Znaczenie badań stacjonarnych w rozpoznaniu reżimu hydrogeologicznego źródeł i wywierzyisk krasowych w Tatrach. [W:] *Symposium „Aktualne problemy hydrogeologii”*, Kraków–Karniowice. — Wyd. AGH, Kraków, ss. 119–131.
- Małecka D. 1992. *Główne zbiorniki wód podziemnych Tatr i Podhala*. [W:] *Materiały sesji naukowej poświęconej jubileuszowi prof. A.S. Kleczkowskiego*. — Wyd. AGH, Kraków, ss. 61–69.

- Małecka D., 1996. Wpływ zbiornika Czorsztyńskiego na środowisko wodne obszarów przyległych. [W:] Konferencja Komitetu Gospodarki Wodnej PAN, Jachranka 3–5 czerwca 1996 r. — Oficyna Wyd. PW, Warszawa, ss. 25–44.
- Małecka D., Humnicki W. 1989. Rola warunków hydrodynamicznych w kształtowaniu reżimu wywierzyska Goryczkowego. — *Prz. Geol.*, **2**: 78–84.
- Małecka D., Lipniacka T. 1990. Sieć hydrogeologicznych obserwacji stacjonarnych na Podhalu – założenia i wstępna interpretacja wyników. — *Prz. Geol.*, **11**: 484–491.
- Małecka D., Murzynowski W. 1978. Rejonizacja hydrogeologiczna Karpat fliszowych. — *Wiad. Inst. Melior. Użytk. Ziel.*, **56**.
- Małecka D. i zespół. 1996. Charakterystyka i ocena aktualnej jakości wód w rejonie Zbiornika Czorsztyńskiego. — *Prz. Geol.*, **11**: 1103–1110.
- Małecki J.J. 1998. Rola strefy aeracji w kształtowaniu składu chemicznego płytkich wód podziemnych wybranych środowisk hydrogeochemicznych. — *Biul. Pań. Inst. Geol.*, **381**: 1–219.
- Marchlewski L. 1914. Wyniki rozbiórów wód mineralnych ze źródeł: Jana, Magdaleny, Wandy i Szymona w Szczawnicy. — *Pam. Pol. Tow. Balneol.*, **3**.
- Niedzielski H. 1965a. Aneks do projektu robót geologicznych dla fazy wstępnej projektu zbiorników: Czorsztyn–Niedzica–Sromowce Wyżne odnośnie ochrony wsi Frydman i Dębno. — *PGiBW „Hydrogeo”*, Kraków.
- Niedzielski H. 1965b. Aneks do projektu robót geologicznych zbiornika Czorsztyn–Niedzica–Sromowce Wyżne odnośnie ochrony wsi Dębno. — *PGiBW „Hydrogeo”*, Kraków.
- Pazdro Z., Kozerski B. 1990. *Hydrogeologia ogólna*. — Wyd. Geol., Warszawa.
- Szajnocha W. 1892. *Źródła mineralne Galicji*. — *Rozpr. Wydz. Mat.-Przyr. PAU*, **32**, s. II, t. II.
- Watycha L. 1959. Uwagi o geologii fliszu podhalańskiego we wschodniej części Podhala. — *Prz. Geol.* **7**(8).
- Wieciech-Kumięga M. (red.) 1995. Informacja o stanie środowiska w Województwie Nowosądeckim w 1994 roku. — Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Nowym Sączu. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Nowy Sącz, 133 s.
- Wundt W. 1958. Die mittleren Ablusshohen und Abflusspenden des Winters, des Sommers und des Jahres in der Bundesrepublik Deutschland. — *Forsch. zur deutsch. Landeskunde*, Bd 105.
- Czorsztyn Reservoir along the western border of the Park. Hydrogeologically, Pieniny National Park, like a number of geological-structural units of the Tatra Mountains and Podhale (Tatra Foothills), belongs to a water system, formed by the whole upper part of the Dunajec River catchment. Geologically, the Pieniny Klippen Belt is regarded as the border between the Outer Carpathians and the Outer Carpathian flysch. In the geomorphological zonation, the area belongs to Podhale, and hydrogeologically it plays a double role. Down to the depth of several tens of meters it belongs to the subsurface level, vividly reacting to external factors, while in the case of deep water circulation within the Podhale Artesian Basin it forms an impermeable barrier precluding further northward migration of waters (Fig. 1).
- Within the Pieniny National Park there is only the subsurface layer with a free water table, drained by springs and surface streams.
- Due to the lack of borehole data from the area, the hydrogeological and hydrochemical characteristics were based on field and laboratory research performed during 1994–1998. The groundwater resources can be indirectly inferred from the modules of subsurface runoff. The flow measurements in partial catchments represent low water stands in September 1998 (Fig. 4). The calculated runoff modules indicate poor waterlogging of the massif (Fig. 2). This is also supported by low spring yields, only rarely exceeding 0.5 l/s. (Figs 5, 7). A strong correlation has been found between the spring yield and its morphological location (Fig. 6).
- Within the study area, limited by the Dunajec and Krośnica River Valleys, the groundwater table is found from 1 to 5 m, sporadically 8 m below ground level (Fig. 8).
- Assuming the groundwater environment as the main criterion, three hydrogeological units have been discerned within the study area: the River Valleys Unit, the Krośnica Unit and the Pieniny Unit. Further subdivision into hydrochemical regions has been based upon over 1000 field determinations of physical and chemical properties of water as well as the results of 200 laboratory analyses.
- The **pore** waters of the River Valleys Unit have been classified into the region A, fissure

SUMMARY

The Pieniny National Park is situated in one of the most beautiful regions of Poland, including the picturesque Dunajec River water gap. The area is attractive for tourists also because of the

waters of the Krośnica Unit to region B₁, and those of the Pieniny Unit to regions B₂ and B₃ (Fig. 3).

An analysis of the chemical content of waters, divided into surface waters, springs and man-made wells has shown that the waters reached by the wells are the most prone to anthropogenic impact. This is indicated by elevated contents of sulphates, nitrates, chlorides and sodium, and the general water mineralisation (Figs 9, 10).

An analysis of spatial distribution of the specific electrolytic conductivity and water mineralisation indicated that despite similar hydrochemical properties, the Pieniny Unit can be subdivided into two areas: region B₂ including the highest parts of the Pieniny Mountains, dominated by carbonates, and region B₃ including mostly the

foothill planation surface, with more easily leached **marls**, sandstones and shales (Fig. 12); this subdivision is also visible in the rMg^{++}/rCa^{++} values (Fig. 13). Furthermore, the results of a control sampling of selected hydrogeological points (Tab. I) have shown that the BOD₅ values qualify the waters for the I purity class, and among 19 microelements determined within the Pieniny National Park, barium, strontium and zinc have been found (Tab. III).

The study results allowed for a preliminary hydrogeological characterization of the area and determination of the current water quality. They establish the reference basis for planning future monitoring studies following the dynamics of surface and ground water stands, and spring yields in the annual and multiannual cycles.