

Występowanie i jakość wód podziemnych w skałach krystalicznych Sudetów na podstawie badań ujęć

Stanisław Staśko*, Andrzej Wojtkowiak**

The groundwater occurrence and quality within crystalline rocks of Sudety Mts based on water intakes study (SW Poland).
Prz. Geol., 52: 69–75.

Summary. Results of field measurements and study on groundwater occurrence in hard rock are presented based on data from water intake. The main goal of the research (field and lab) was to determine: conditions of occurrence, storage and groundwater flow and intake within crystalline rocks as applicable for water supply methods and choosing best technique of field survey for the preferential zones rich in groundwater within crystalline rocks, best methods of water intake, and monitor changes of water quality during the last 10 years. The final effect of the project was a documentation presenting optimal criteria to choose the water intake types within crystalline rocks, the proposal of a set of obligatory physical–chemical analyses during water intake documentation as well as creation of a relational data base Krystal 1, which includes the basic data of investigated water intakes with the physical–chemical results of 142 samples taken in the field. The best methods for water intake were horizontal drainage intake and intake based on natural spring. Groundwater quality improvement in the last decade was manifested by increase of water pH and recovery toward natural chemical character of the ground waters.

Key words: crystalline rocks, groundwater intake, groundwater quality

Zagadnienie jakości wód podziemnych i warunków ich występowania w skałach krystalicznych jest przedmiotem rosnącego zainteresowania i rozważań. Obszar objęty studiami, obejmuje Sudety, a więc region cechujący się wysokimi wartościami opadów atmosferycznych oraz — do niedawna — obecnością obszarów zanieczyszczeń atmosferycznych pochodzących głównie z tzw. „czarnego trójkąta”. Dlatego też, zebrane w trakcie badań materiały umożliwiły określenie trendów zmian składu chemicznego wód podziemnych. Obszary zbudowane ze skał krystalicznych, takich jak granity, gnejsy, czy łupki krystaliczne były uważane za słabo wodonośne. Dokonany w ostatnich latach postęp badań w tym zakresie modyfikuje dotychczas panujące poglądy (np. Knopman & Hollyday, 1993; Krasny, 1993; Staśko, 1996). Nowsze badania wykazały dużą heterogeniczność tego środowiska oraz średnie i wysokie zawrodoenie w strefach uprzywilejowanych. Geolodzy mają do czynienia z tym problemem nie tylko w opracowaniach hydrogeologicznych — przy poszukiwaniach wód, ale również w badaniach surowcowych i przy lokalizacji składowisk odpadów. Zgromadzone wyniki i badania, naszym zdaniem, przybliżają przynajmniej częściowo poznanie tego zagadnienia.

Przyjęta metodyka badań

Program dwuletnich prac obejmował badania jakości wód podziemnych, określenie typu i wydajności ujęć zlokalizowanych w skałach krystalicznych Sudetów oraz stworzenie komputerowej bazy danych. Terenowe badania hydrogeologiczne wykonano w 2 etapach jesienią — 1999 r. i 2000 r. obejmowały pobieranie próbek wody do analiz chemicznych oraz zebranie podstawowych danych o ujęciach. Łącznie opróbowano 142 punkty dokumentacyjne (w tym 3 próbki do analizy kontrolnej). Oznaczenia wykonano w Centralnym Laboratorium Chemicznym PiG w Warszawie. Lokalizację miejsc opróbowania na tle głównych wydziałów geologicznych Sudetów przedstawiono na ryc. 1. Przeprowadzono również pomiary (głównie

wydajności, temperatury wód) i obserwacje oraz wywiady terenowe z użytkownikami ujęć w celu stworzenia bazy danych punktów badawczych i ujęć. Działania te umożliwiły zgromadzenie wyników i danych dotyczących charakterystyki głównych typów ujęć wód podziemnych, sformułowanie wytycznych dla ustalania lokalizacji ujęć, ustalenie optymalnych typów ujęć, rejestrację — w skali regionalnej — parametrów fizykochemicznych wód w obszarach występowania utworów krystalicznych. Jednym z zadań, które wyłoniły się dopiero po zakończeniu badań terenowych stała się weryfikacja dotychczasowego i wypracowanie nowego wzorca oznaczeń składników fizykochemicznych próbek wody w aspekcie ilościowym i jakościowym. Stworzono również relacyjną bazę danych Krystal 1, umożliwiającą przetwarzanie danych według przyjętego schematu i zakresu.

Wyniki badań i ich dyskusja

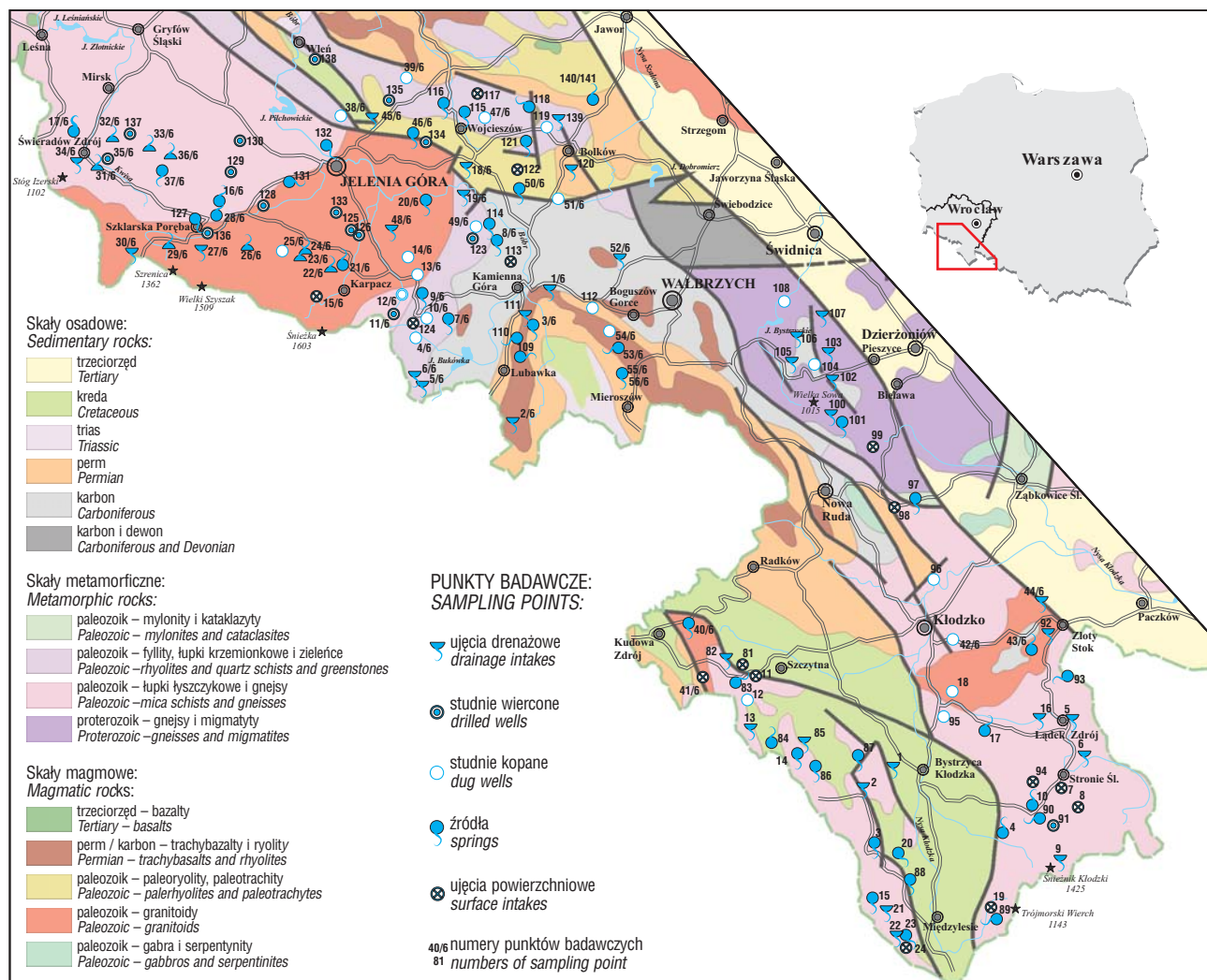
Ze względu na niewielką miąższość stref zawrodoionych w utworach krystalicznych oraz ich zmienność, stosuje się różne techniki ujmowania wód podziemnych. W przeciwieństwie do klasycznych studni pionowych wykonywanych na obszarach niżowych, w obszarach górskich przeważają ujęcia poziome. Ujmowanie wód podziemnych studniami pionowymi wymaga szczególnie starannej lokalizacji (poprzedzonej dodatkowymi badaniami, w tym geofizycznymi) i nie zawsze jest efektywną metodą pozyskiwania tych wód.

Wśród technik ujmowania wód podziemnych i źródłowych odcinków potoków górskich wyróżnia się: ujęcia źródeł, ujęcia drenażowe ujmujące wody podziemne za pomocą poziomych drenów, studnie kopane wiercone lub kute w skałę, ujęcia wód podziemnych za pomocą studni szybowych (szerokodymensyjnych) i mieszanych (z drenami poziomymi), za pomocą sztolni oraz ujęcia brzegowe i nurtowe z potoków i rzek.

Spośród 139 badanych ujęć dominują ujęcia drenażowe (58) i ujęte źródła (40). Łącznie te dwa typy stanowią 69% badanej populacji ujęć. Na dalszym miejscu znajdują się różnego rodzaju studnie — 29 ujęć (20%). Wśród tej grupy pomierzono 16 studni wierconych, 10 kopanych i 3

*Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. Maksa Borna 9, 50-205 Wrocław; stasko@ing.uni.wroc.pl

**Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Dolnośląski, al. Jaworowa 19, 53-122 Wrocław; awoj@pigod.wroc.pl

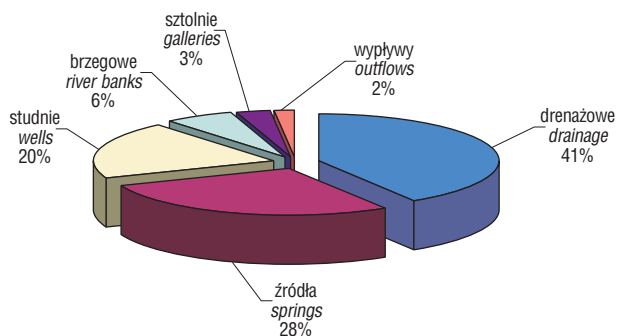


Ryc. 1. Rozmieszczenie punktów badawczych: na tle wydzielen geologicznych Sudetów

Fig. 1. Localisation of the sampling points: on the geological map of the Sudety Mts

kute w litych skałach podłoża. Ujęcia wód powierzchniowych w ich górnych biegach, a więc ujęcia brzegowe i wycieki oraz wypływy ze skał, stanowią tylko 8% badanej populacji (11 sztuk). Procentowy udział poszczególnych typów ujęć ilustrujący załączony diagram (ryc. 2).

Źródła mało zmienne lub o stałej wydajności są obok ujęć drenażowych najpopularniejszym sposobem zaopatrzenia w wodę i dominującym w przypadku zaopatrzenia w wodę pojedynczych (lub kilku) gospodarstw. Wodę ze



Ryc. 2. Rodzaje ujęć wodnych w skałach krystalicznych Sudetów

Fig. 2. Different types of water intakes in crystalline rocks of the Sudety Mts

źródła ujmuje się zazwyczaj poprzez zabudowanie miejsca wypływu kręgiem betonowym lub ścianką, a na dnie lub pod obсыpką z piasku/żwiru umieszcza się końcówkę (filtr poziomy) rurociągu. Obudowane źródła są połączone niekiedy z odbiorcą rurociągiem przechodzącym poprzez zbiornik wyrównawczy. Ujęcia takie dostarczają dobrych jakościowo wód. Wydajność ich jest zwykle niska i zawiera się, dla typowych źródeł, w przedziale 0,1÷1,0 l/s (0,36÷3,6 m³/h). Przykłady takich ujęć spotyka się w całych Sudetach, a szczególnie popularne są one w Górach Bystrzyckich, Górach Sowich, Górach Izerskich i Karkonoszach. Większe ujęte źródła, o wydajnościach gwarantowanych powyżej 1÷2 l/s (3,6÷7,2 m³/h), stanowią bazy zaopatrzenia dla całych miejscowości. Dla potrzeb gospodarki komunalnej miast i osiedli wiejskich są one bardzo cennym źródłem zaopatrzenia w wodę o dobrej jakości. Pierwsze zestawienie ujętych źródeł zostało wykonane podczas realizacji *Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:200 000*. Na arkuszach map Wałbrzych, Kłodzko i Jelenia Góra (Michniewicz i in., 1981, 1983, 1987) opisano największe ujęcia bazujące na wodach źródeł. W objaśnieniach do arkusza Wałbrzych wymienia się ujęte źródła: w miejscowości Słup, Dobre Źródło w Gorzanowicach, w Betlejem, w Mieroszowie. Autorzy cytowanych arkuszy mapy opisali poza tym jeszcze 25 innych źródeł o wydajności

od 0,5 l/s do 5,8 l/s, czyli takie, które dostarczają od 48 do ponad 500 m³/d. Mogą one być podstawą zaopatrzenia miejscowości o liczbie mieszkańców od 300 do 3000 osób. Największą wydajność spośród źródeł drenujących utworzy krystaliczne w Sudetach ma strefa źródłkowa Bystrzycy Dusznickiej pod Zieleńcem w Górach Orlickich. Z kilku dużych i kilkunastu mniejszych wypływów wylewa się ok. 65–100 l/s, czyli 5600–8500 m³/d.

Dreny są stosowane w obszarach, w których zwierciadło wód podziemnych występuje płytko (do 5 m), a warstwa wodonośna ma niewielką miąższość. Należy przy tym wyraźnie oddzielić pojęcie ujęcia drenażowego ujmującego wody o różnej genezie przepływu (głównie głębokiego systemu odpływu) od ciągów drenarskich melioracyjnych ujmujących wody płytkiego krążenia. Perforowane ciągi rur układa się we wkopie i dla zwiększenia dopływu obsypuje piaskiem lub żwirem. Od powierzchni terenu izoluje się je materiałem skalnym słabo przepuszczalnym typu glin zboczowych. W zależności od potrzeb stosuje się systemy drenażowe jedno- lub wielogłęziowe rozbudowane oraz poddenne. Ze względu na sposoby ujmowania wód podziemnych wyróżnia się dreny z jednostronnym lub dwustronnym dopływem. Dreny układa się prostopadle do kierunku spływu wód podziemnych. Ujęcia drenażowe obejmują, poza rurociągiem drenażowym, studnie kontrolne, zbiorcze oraz zbiorniki wyrównawcze, z których wyprowadza się szczelny rurociąg do odbiorców. Wydajności takich ujęć są zróżnicowane, lecz znacznie wyższe od pojedynczych źródeł i wynoszą ponad 3600

m³/d. Najlepszym przykładem ujęć drenażowych są ujęcia w Górach Sowich, zbudowane na początku naszego stulecia, a zaopatrujące do chwili obecnej takie miasta, jak: Bielawa, Nowa Ruda czy Dzierżoniów. Ujęcia tego typu są położone na różnych wysokościach, a jedno z nich ma swój początek aż pod szczytem Wielkiej Sowy, na wysokości 900 m n.p.m. Sposób wykorzystania wód podziemnych przez ujęcie drenażowe przedstawiono na przykładzie miasta Bielawy. Ujęcie zostało zaprojektowane i wykonane w latach 1927–1928 przez firmy Hempel i Beyer. Jest to rozbudowany system ujęć rozgałęzionych, poddennych i klasycznych — drenażowych, położonych w dolinach potoków, będących naturalną bazą spływu wód podziemnych. Ujęcie jest położone w dolinie Niedźwiedziego Potoku i obejmuje obszar o powierzchni 10,5 km². Dwie grupy ciągów drenażowych są utworzone przez sześć ciągów drenarskich. Większa grupa ciągów drenażowych ujęcia ma długość 4100 m i składa się z trzech ciągów drenarskich. Na jednym z nich, o długości 1500 m, usytuowano 23 studzienki rewizyjne w odległościach co 50–150 m. Na ciągach biegnących wzdłuż dolin zbudowano również siedem poprzecznie usytuowanych krótkich odgałęzień drenów (o długościach od 100 do 150 m), prawdopodobnie w strefach spękań poprzecznych.

Jak wynika z najnowszych danych, ujęcie to, w zależności od pory roku dostarczało od 2610 do 3924 m³/d, co wcześniej dokumentowali Michniewicz i in. (1981). Uwzględniając obszar objęty odwadnianiem oraz wielkość poboru obliczono średni roczny odpływ podziemny na analizowanym terenie, który wynosi 3,7 l/s/km², czyli ponad 240 m³/d/km². Poza przykładowym, omawianym wyżej ujęciem dla Bielawy należy wymienić podobne ujęcia dla Dzierżoniowa, Głuszycy, Nowej Rudy i innych miejscowości, zamieszczonych w tab. 1.

Studnie głębione w utworach zwietrzelinowych, bądź w spękanych skałach charakteryzują się znacznie większą średnicą. Pozwala to ujmować większą liczbę i objętość drożnych szczelin, co zwiększa dopływ wód. Dodatkowo, w okresach niskich stanów, studnie takie działają jako zbiorniki wody. Przykłady studni o średnicy ponad 2,2 m są znane z Bielawy, czy z fortów Srebrnej Góry (Donżon). Dość często też spotyka się, zwłaszcza na obszarach występowania łupków i gnejsów studnie kute w litej skale. W sprzyjających warunkach występowania skał szczelinowatych, niekiedy z nadkładem miększych aluwów rzecznych i pokryw zwietrzelinowych, stosuje się typowe studnie wiercone o średnicy eksploatacyjnej otworu do 0,305 m. W ostatnim dziesięcioleciu znacznie wzrosła liczba wykonywanych studni wierconych o dosyć małych średnicach eksploatacyjnych (114–225 mm) i głębokości do 50 m, dostarczających wodę w ilościach do 5 m³/h, o dobrych parametrach jakościowych i nie narażonych na bezpośrednie zanieczyszczenie. Użytkownikami tych studni są głównie małe zakłady produkcyjne, ośrodki wczasowo-turystyczne, schroniska PTTK lub pojedyncze gospodarstwa domowe.

W warunkach płytkiego występowania skał podłoża, ich znacznego spękania i dużego zapotrzebowania na wodę stosuje się galerie drenażowe. Są one konstruowane z rur o dużej średnicy (0,7–1,8 m) i dlatego są określane jako przełazowe. Wprawdzie koszty ich budowy są wyższe, ale konstrukcja umożliwia czyszczenie, co wydłuża żywotność galerii. Perforowane rurociągi są układane na stokach w

Tab. 1. Zestawienie dużych ujęć drenażowych wód podziemnych

Table 1. Record sheet of big drainage groundwater intakes

Lokalizacja, Użytkownik <i>Localisation, User</i>	Wydajność ujęcia <i>Intake's discharge</i> [m ³ /24h]
Bielawa, Zakład Gospodarki Komunalnej <i>Bielawa, Municipal Department</i>	2610–3924
Dzierżoniów, Zakład Wodociągów i Kanalizacji <i>Dzierżoniów, Water Supply and Sewer Comp.</i>	5 517
Walim, Wałbrzyski Zakład Wodociągów i Kanalizacji <i>Walim, Wałbrzych Water Supply and Sewer Comp.</i>	727
Lądek Zdrój, Zakład Gospodarki Komunalnej <i>Lądek Zdrój, Municipal Department</i>	440–800
Szklarska Poręba, Zakład Gospodarki Komunalnej <i>Szklarska Poręba, Municipal Department</i>	488
Kowary, Zakład Gospodarki Komunalnej <i>Kowary, Municipal Department</i>	900
Głuszycza, Wałbrzyski Zakład Wodociągów i Kanalizacji <i>Głuszycza, Wałbrzych Water Supply and Sewer Comp.</i>	940–1350
Łomnica, Wałbrzyski Zakład Wodociągów i Kanalizacji <i>Łomnica, Wałbrzych Water Supply and Sewer Comp.</i>	750–1300

strefach drenażu wód podziemnych. Od sztolni odróżnia je generalnie kierunek przebiegu — w przybliżeniu prostopadły do nachylenia stoku i generalnie jednostronny drenaż wód od strony dostokowej. W litych skałach, prostopadle do morfologii stoku kute są sztolnie i chodniki, zbierające wody z głębszych stref wodonośnych. Spośród istniejących sztolni, wykorzystywanych dla zaopatrzenia w wodę ludności i przedsiębiorstw należy wymienić sztolnie w Kuźnicach Świdnickich (pobór 240 m³/d), w Starym Lesieńcu (pobór 160 m³/d), w Głuszycy (pobór 220 m³/d), czy też w Karpaczu (pobór 180 m³/d). Przykładem takiego ujęcia może być również zarzucona sztolnia górnicza pod Śnieżnikiem. Sztolnia ta w okresie 1991–1999 dostarczała od 65 do ponad 100 m³/h wody (Staśko, 1997, 1999).

W górnych częściach zlewni, w obrębie których jakość wód powierzchniowych jest wysoka i w niewielkim stopniu podlega wpływom antropogenicznym, są ujmowane potoki górskie. Ujęcia takie są często spotykane w zlewni Bobru, jak również Nysy Kłodzkiej czy Bystrzycy i jej dopływów. Wyróżnia się dwa sposoby ujmowania wód. Pierwszy polega na ujęciu przy brzegu części nurtu potoku i skierowaniu go do odbiorcy osobnym rowem lub rurociągiem. Przykładem tego są ujęcia często spotykane w małych miejscowościach i służące zaopatrzeniu pojedynczych gospodarstw, co ma miejsce m.in. w masywie Śnieżnika, Karkonoszach, czy w Górach Izerskich i Bystrzyckich. Drugi typ to przegrodzenie całego nurtu potoku i ujęcie go w system rurociągów i zbiorników. Przykładową ilustracją tego sposobu mogą być ujęcia potoków spływających po północnych stokach Gór Sowich, np. potoki Szklany i Bydlęcy, czy ujęcie „Kamieńczyk” w Szklarskiej Porębie.

Strefy perspektywiczne i optymalne techniki ujmowania wód podziemnych

Przejawy podwyższonego zawodnienia, korzystne dla lokalizacji ujęć występują w uprzywilejowanych domach skalnych. Te z kolei są związane z przebiegiem ważniejszych stref dyslokacyjnych: uskoków i towarzyszącym im stref spękań prostopadłych i skośnych. Zlokalizowanie zawodnionych stref spękań wymaga więc wiedzy geologicznej, znajomości tektoniki obszaru, jak również doświadczenia hydrogeologicznego. Strefy perspektywiczne występują jedynie w obrębie drożnych dyslokacji. Należy przy tym zaznaczyć, że nie każdy uskok jest wodonośny (Krasny & Kvet, 1976) — istnieje wiele uskoków zaporowych, izolujących zawodnione partie krystaliniku. Głównie zadanie polega więc na precyzyjnym określeniu przebiegu drożnych, przewodzących wodę stref, w zróżnicowanym geologicznie i geomorfologicznie obszarze. Bezpośrednio w terenie manifestują się one jako podmokłości, obszary wysięków, pojedynczych źródeł bądź linii źródeł. Obszary perspektywiczne obejmują rozpoznane strefy tektonicznych dyslokacji takich jak, Kletno–Stare Mesto w masywie Śnieżnika, uskoki Świeradów–Sosnówka, uskok Szklarskiej Poręby czy Jakuszyce–Kopaniec w Karkonoszach. Obok tych regionalnych stref ważną rolę odgrywają również mniejsze strefy, takie jak uskok Lisich Skał, czy Szklarki w Karkonoszach.

W obszarach, gdzie są małe możliwości uzyskania wód podziemnych o wymaganej wydajności, w okresach niskich stanów należy wspomagać zaopatrzenie z wód

powierzchniowych. Trzeba jednak wówczas pamiętać o zagrożeniach i odpowiednim zabezpieczeniu stref ochrony ujęcia. Ujęcia tego typu, znane np. z Gór Bystrzyckich czy Sowich, są zazwyczaj lokalizowane w obszarach leśnych, stanowiących naturalne zabezpieczenie. Ujęcia hybrydowe, a więc połączenie ujęć drenażowych lub płytkich studziennych, wspomaganych ujęciami wód powierzchniowymi są spotykane, np. w Karkonoszach (ujęcia dla Karpacza) i w Górach Kamiennych (ujęcie Łomnica–Trzy Strugi dla Głuszycy).

Poszukiwanie i lokalizacje takich stref perspektywicznych w terenie powinny poprzedzać prace kameralne obejmujące studia istniejących materiałów archiwalnych oraz analizę map geologicznych i hydrogeologicznych. Dla mniejszych ujęć można wykorzystywać lokalne strefy drenażu, zaznaczone w morfologii przebiegiem dolin, czy też obniżeniami terenu. Wybór sposobu ujmowania wód zależy w dużej mierze od wielkości zapotrzebowania na wodę. Należy przy tym określić wielkość całkowitego zapotrzebowania z rozbiorem na maksymalne i średnie dobowe. Źródła o wydajności 0,1–1,0 l/s w okresach niskich stanów mogą zapewnić wystarczające dostawy wody dla 50–500 użytkowników. Projektując ujęcia drenażowe należy mieć na względzie ich zmienną wydajność w roku hydrologicznym, stąd zapewnienie wymaganej wydajności powinno być poprzedzone pomiarami szczególnie w okresach niskich stanów. Wiele rejonów w Sudetach posiada opisy szczegółowych badań hydrogeologicznych, stanowiących punkt wyjścia dla opisanych tu działań analitycznych. Zgromadzone są one m.in., w pracach takich autorów, jak Bieroński (1997), Ciężkowski (1990), Kryza (1983), Kryza (1983), Staśko (1997), Bocheńska i in. (1994), Marszałek (1996), Michniewicz (1980), Michniewicz, Mroczkowska (1976), Tomaszewski (1972), Wojtkowiak (2000).

Obszar Sudetów ma bogatą dokumentację kartograficzną, a mianowicie opisany jest 4 arkuszami *Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:200 000* (1978–1985) i w znacznej mierze, aktualnie realizowaną edycją arkuszy *Mapy hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000*. Wspomnieć też należy o przeglądowych mapach hydrogeologicznych, wykonanych pod redakcją Kolago (1980), Kleczkowskiego (1990) czy Paczyńskiego (1995). Najnowsze mapy hydrogeologiczne w skali 1:50 000, wykonane wraz z objaśnieniami tekstowymi i komputerową bazą danych w GIS, są podstawą do wnikliwych studiów ze względu na szczegółowe bazy danych i syntetyczną ilustrację graficzną. Analizując opracowania kartograficzne należy zwrócić szczególną uwagę na występowanie pojedynczych źródeł, linii źródeł, obszarów drenażu, występowanie wyrobisk górniczych typu sztolnie, itp. Generalnie, najkorzystniejsze warunki dla lokalizacji i budowy ujęć znajdujemy w strefach drenażu. Pomocna w projektowaniu jest tu mapa geologiczna wraz z objaśnieniami. Dostarcza ona cennych wiadomości o głównych typach litologicznych skał, ich zasięgach, charakterze geochemicznym oraz stopniu zaangażowania tektonicznego. Spośród skał krystalicznych lepsze właściwości hydrauliczne wykazują granity, gnejsy, serpentynity czy spękanne skały żyłowe. Gorsze właściwości są typowe dla skał słabo spękanych, takich jak zieleńce, diabazy, gabra czy niektóre łupki metamorficzne. Ważne jest też wykształcenie pokryw zwietrzelinowych ich miąższość. Uskoki przedstawione na mapach, jak również stwierdzone bezpośrednio w terenie oraz strefy uskokowe i towarzyszące im spękania, będą

pomocne przy analizie zawodnienia i wytypowaniu obszarów perspektywicznych do szczegółowych badań. Cennym źródłem informacji są również mapy fotolineamentów wykonane dla danych obszarów, wyniki badań geofizycznych i zdjęć radarowych.

Na podstawie omówionych prac kameralnych należy wytypować obszary perspektywiczne, dla których szczegółową wizję i wybór dokonuje się bezpośrednio w terenie. Wizja terenowa ma za zadanie weryfikację danych zawartych na mapach oraz wskazanie i wytypowanie miejsc ewentualnych dalszych badań szczegółowych. Ważne jest określenie odległości od użytkownika, tras przebiegu rurociągów, zagrożenia ujęcia, spraw właściwości gruntów itp. Wstępna analiza i pomiary określają również możliwości zaspokojenia potrzeb wodnych na podstawie stwierdzonych w terenie warunków i parametrów hydrogeologicznych.

Badania terenowe mają na celu pomiary wydajności studni, źródeł lub potoków oraz określenie stopnia spękania skał podłoża, określenie szczegółowej lokalizacji ujęć i sposobu ujmowania wód.

Parametrami charakteryzującymi spękania są: orientacja przestrzenna, ich rozwarcie i długość, stopień spękania masywu skalnego, gęstość spękań — powierzchniowa i objętościowa, wskaźnik ciągłości spękań, stopień ich wypełnienia, porowatość szczelinowa. Z punktu widzenia hydrogeologicznego szczególnie istotne są: rozwarcie spękań, ich długość, gęstość, stopień wypełnienia oraz porowatość szczelinowa. Przykład praktycznego zastosowania powyższej metodyki dla określenia właściwości filtracyjnych skał sudeckich można znaleźć w pracach Michniewicza (1980, 1983), czy Staśko (1997). Szczegółowe omówienie tych parametrów znajduje się m.in. w pracy Liszkowskiego i Stochlaka (1976).

Wybór typu ujęcia, poza zapotrzebowaniem na wodę, powinien uwzględniać:

□ budowę geologiczną i zdolności utworów przypowierzchniowych do gromadzenia i oddawania wód,

□ obecność stref tektonicznych, spękań i drożnych szczelin,

□ położenie obszaru w polu hydrodynamicznym (szczególnie perspektywiczne są obszary drenażu lokalnego i przejściowego systemu przepływu),

□ istniejące objawy zawodnienia w formie młak, wysąceń, wycieków czy źródeł.

Zaprojektowany typ ujęcia oraz zebrane dane (z map hydrogeologicznych, roczników hydrogeologicznych PIG, z banku „HYDRO”, dokumentacji i in.) wraz z wynikami prac terenowych posłużą do szczegółowych obliczeń wiel-

kości dopływu do ujęcia i ustalenia wydajności eksploatacyjnej (gwarantowanej). W przypadku źródeł mierzonych okresowo lub stacjonarnie należy przyjmować najniższą pomierzoną wydajność pomniejszoną o odpływ krytyczny — niezbędny dla zachowania życia biologicznego. W przypadku ujęć drenażowych w obliczeniach należy uwzględnić długość drenu, współczynnik filtracji, miąższość stref nawodnionych i zasięg wpływu ujęcia. Szczegółowe wzory obliczeniowe zawarte są w podręcznikach — np. Pazdro i Kozerski (1990), czy Gabryszewski i Wieczysty (1985).

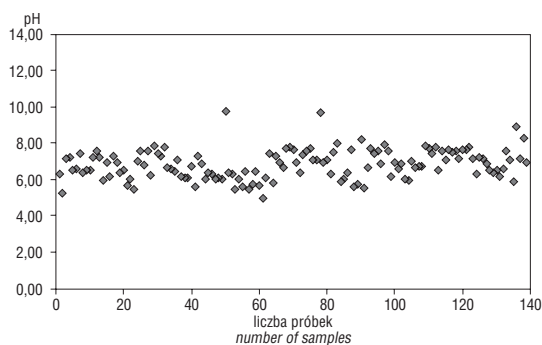
Jakość wód podziemnych — proponowany zestaw oznaczeń składników fizykochemicznych

Obok czynnika ilościowego w pozyskiwaniu wód podziemnych ważąca jest również ich jakość. Szczególnie dotyczy to górzystych obszarów, które są strefami zasilania i jednocześnie drenażu wód podziemnych, w skałach krystalicznych. Pierwsze regionalne badania hydrogeochemiczne Sudetów w aspekcie poszukiwawczo-złożowym przeprowadził PIG na obszarze wschodniej osłony granitu Karkonoszy (Michniewicz, 1978) i SE części Gór Kaczawskich (Michniewicz, 1983a) oraz Kryza (1983), Marszałek (1996), Bocheńska i in. (1994), Ciężkowski i in. (1997). Opracowania te pozwoliły na wypracowanie jednolitego, a zarazem elastycznego wzorca badawczego dla całego krystaliku sudeckiego. Niestety postęp techniczny w dziedzinie oznaczeń składników wód spowodował, że część rezultatów tych badań nie jest w pełni miarodajna (dokładność oznaczeń), bądź wykonane zostały w innym standardzie (inna metodyka oznaczeń laboratoryjnych). Stanowią one jednak cenny materiał faktograficzny i porównawczy, zwłaszcza niektóre oznaczenia fizyczne, jak np. pH, które po dzień dzisiejszy są miarodajne i porównywalne. Porównując dane uzyskane z analiz fizykochemicznych wykonanych w ramach realizacji tematu (lata 1999–2000) z rezultatami analiz fizykochemicznych, wykonanych dla potrzeb Krajowego Monitoringu Wód Podziemnych i kilkunastu arkuszy seryjnej *Mapy Hydrogeologicznej Polski* (lata 1991–2002), wykonanymi przez to samo Centralne Laboratorium Chemiczne PIG stwierdzono, że są one standardowe i miarodajne. W związku z tym można wyraźnie stwierdzić, że skład fizykochemiczny omawianych wód jest coraz bardziej zbliżony do składu pierwotnego (naturalnego), charakteryzującego wody występujące w skałach krystalicznych. W zestawie tych wód dominują obecnie jony: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} z dość wysokim udziałem jonu NO_3^- . W mniejszych ilościach występują jony: Mg^{+2} , Cl^- , Na^+ i K^+ . Stężenia substancji

Tab. 2. Wartości średnie i ekstremalne ważniejszych makroskładników w wodach podziemnych skał krystalicznych Sudetów Zachodnich

Table 2. Average, minimum and maximum values of main macro elements in groundwater crystalline rocks of Western Sudety Mts

Składnik/wartość Element/value	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Ca^{+2}	NO_3^-	Mg^{+2}	SiO_2	Cl^-
	mg/dm ³						
Średnia arytmetyczna Arithmetic average	74,22	33,08	28,16	9,86	7,29	14,7	6,35
Maksymalna Maximum	348,00	99,00	105,40	49,00	46,60	52,8	63,90

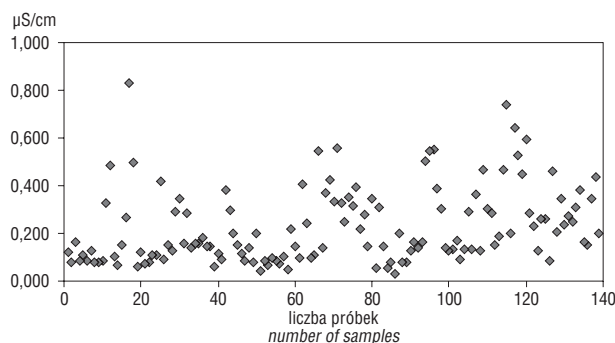


Ryc. 3. Rozkład wskaźnika pH wody badanej populacji ujęć
Fig. 3. Distribution of pH values for sample population under study

allochtonicznych, wprowadzanych do wód, wykazują wyraźną tendencję spadkową. Jest to związane z zaprzestaniem lub znacznym ograniczeniem emisji do środowiska substancji związków gazowych głównie azotu (NO_x) siarki (SO_x), a także z ograniczeniem bezpośrednich zrzutów do wód powierzchniowych ścieków komunalnych i przemysłowych. Średnie arytmetyczne i ekstremalne wartości tych składników stwierdzone w latach 1999–2000 ilustruje tab. 2.

W uzupełnieniu należy dodać, że w 81% badanych próbek stwierdzono zawartość jonu HCO_3^- poniżej 150 mg/dm^3 , 62% próbek wykazało zawartość jonu SO_4^{2-} poniżej 40 mg/dm^3 . Zawartość Ca^{2+} poniżej 40 mg/dm^3 miało ponad 75% próbek, zawartość jonu NO_3^- poniżej 20 mg/dm^3 stwierdzono w 70% próbek, a poniżej 10 mg/dm^3 aż w 88% próbek (przy normie dla NO_3^- równej 50 mg/dm^3); zawartość Mg^{2+} w ilości poniżej 10 mg/dm^3 zanotowano w 88% analizowanych próbek. Podobnie sytuacja wygląda z chlorkami — w 85% próbek stwierdzono zawartość jonu Cl^- poniżej 10 mg/dm^3 .

Jednym z zadań, które wyłoniły się po zakończeniu badań terenowych stała się weryfikacja dotychczasowego zakresu oznaczeń próbek wody w aspekcie badanych składników fizykochemicznych. Już po wstępnej selekcji, na podstawie dotychczasowych doświadczeń, ograniczono zakres oznaczeń 139 próbek, realizując 26 oznaczeń fizykochemicznych zamiast dotychczas wykonywanych 44–50 oznaczeń fizykochemicznych. Z wykonanych 26 oznaczeń składników fizykochemicznych, 8 oznaczeń nie wykazywało zmienności wartości w aspekcie przestrzennym, nie dawało podstaw do rozważań statystycznych lub mieściło się poniżej granicy progu oznaczalności aparatury użytej do wykonania analiz wód. Dwa oznaczenia (pH i przewodność elektrolityczna) scharakteryzowano indywidualnie. Składniki te podzielono na dwie grupy: makroskładniki (HCO_3 , SO_4 , Cl , NO_3 , Ca , Mg , SiO_2 , Na , K) o średniej zawartości powyżej 1 mg/dm^3 i mikroskładniki (F , Al , Fe , Mn , Zn , Ba , Sr) o średniej zawartości poniżej 1 mg/dm^3 . Analiza cech fizykochemicznych wód, w zależności od typu skał wodonośnych, nie wykazała znaczącej zmienności makroskładników, a wśród mikroskładników zaobserwowano zmienność zawartości cynku i w mniejszym stopniu fluoru oraz baru. Porównując cechy fizykochemiczne wód eksploatowanych poszczególnymi, opisanymi wyżej, typami ujęć nie stwierdza się istotnych różnic w średnim składzie fizykochemicznym makroskładników we wszystkich typach analizowanych ujęć. Natomiast istotne różnice notuje się w składzie fizykochemicznym mikroskładników, szczególnie dotyczy to



Ryc. 4. Rozkład wartości przewodnictwa elektrycznego wody badanej populacji ujęć
Fig. 4. Distribution of the electrical conductivity for the population under study

zawartości Zn i Fe (studnie wiercone i kopane) oraz Mn (studnie wiercone). Te spostrzeżenia jasno dowodzą, że występowanie wyższych zawartości żelaza i manganu związane jest z rodzajem ujęcia i sposobem jego eksploatacji. Ujęcia pionowe, oparte na studniach kopanych, a zwłaszcza wierconych, eksploatowane w sposób nieciągły (połączony z dużymi wahaniami zwierciadła wody) wykazują znacznie wyższe zawartości tych składników. W ujęciach eksploatowanych w sposób ciągły (źródła, ujęcia drenażowe, sztolnie), gdzie woda wypływa samoczynnie i przemieszcza się grawitacyjnie występują znacznie mniejsze (nawet o rząd wielkości) ilości Fe i Mn .

Wyznacznikiem zachodzących zmian w stopniu zakwaszenia badanych wód jest przedstawiony na ryc. 3 rozkład wskaźnika pH. Oznaczenie to wykonano dla 139 punktów opróbowania wód podziemnych w utworach krystalicznych z terenu całych Sudetów; jego wartość średnia wynosi 6,56, a ok. 90% punktów wykazuje wartości pH w przedziale 6–8. Wartości ekstremalne pH kształtują się następująco: wartość maksymalna — 9,81 (efekt chlorowania studni krótko przed poborem próbki) minimalna — 4,99, podczas gdy jeszcze kilka lat temu bardzo często wartość pH oscylowała poniżej 6, przy zmierzonej wartości minimalnej 4,15 (w 1993 r.).

Drugie z oznaczeń omawianych indywidualnie — wartość przewodności elektrolitycznej wody nie wnosi już tak jasnego obrazu co do jego średniej i ekstremalnych wartości. Należy jednak podkreślić rolę przewodności m.in. jako wskaźnika: głębokości migracji wód eksploatowanych ujęciami oraz interakcji między środowiskiem skalnym i przepływającą wodą w utworach krystalicznych. Średnia jej wartość dla 139 badanych próbek wyniosła $0,227 \text{ mS/cm}$ (wartość — maksymalna i minimalna — równe odpowiednio $0,830 \text{ mS/cm}$ i $0,033 \text{ mS/cm}$), przy czym w ponad 59% ujęć badanej populacji wartość przewodności kształtuje się poniżej $0,200 \text{ mS/cm}$. Może to wskazywać bądź na dość szybkie tempo krążenia wód drenowanych przez ujęcia, bądź na dużą odporność środowiska skalnego na rozpuszczanie. Według niektórych badaczy, część badanych ujęć eksploatuje strefy aktywnej wymiany wód (Jokiel, 1994). W okresach niżówek hydrologicznych ich wydajność może drastycznie spadać. Głębokie spadki wydajności ujęć są często rejestrowane w obszarach krystalicznych — nie tylko Sudetów, ale i ich przedpola.

Innym zalecanym do oznaczania składnikiem wód w utworach krystalicznych jest zawartość krzemionki (SiO_2). Wysoka wartość (powyżej 20 mg/dm^3) wskazuje, że

w zasilaniu badanych ujęć znaczący udział mają wody głębokiego krążenia (Hoeg i in., 2000). W badanej populacji próbek średnia arytmetyczna zawartość SiO_2 wyniosła $14,7 \text{ mg/dm}^3$ (wartości — maksymalna i minimalna równe odpowiednio $52,8$ i $5,8 \text{ mg/dm}^3$). Wartości te były reprezentatywne prawie dla całej populacji ujęć. Wyjątkiem w grupie ujęć jest grupa 15 ujęć bazujących na studniach wierconych, ujmujących wody na głębokości $30\text{--}50 \text{ m}$. Dla tej ostatniej grupy ujęć średnia zawartość SiO_2 wyniosła $20,9 \text{ mg/dm}^3$, maksymalna — $52,8 \text{ mg/dm}^3$, minimalna — $6,6 \text{ mg/dm}^3$. Dla porównania, np. w populacji 43 ujęć drenażowych (bazujących głównie na wodach mieszanym) wielkości SiO_2 kształtowały się następująco: średnia — $13,88 \text{ mg/dm}^3$, zakres zmienności $4,0\text{--}38,9 \text{ mg/dm}^3$. Wyższa zawartość krzemionki w populacji studni wierconych (ujmujących wody z głębokości ok. $30\text{--}50 \text{ m}$) jest potwierdzeniem faktu rosnącego udziału wód głębszego krążenia w zasilaniu tego typu ujęć.

Proponuje się, aby w pierwszej kolejności w badaniach i dokumentowaniu wód w utworach krystalicznych, oznaczać (w terenie lub/i w laboratorium) i opracować graficznie wyżej wymienione 18 oznaczeń fizykochemicznych. Ten zestaw oznaczeń autorzy polecają jako uniwersalny wzorzec badawczy cech fizykochemicznych wód, występujących w skałach krystalicznych.

Wnioski

❑ Przeprowadzone badania i studia wykazały, że głównym sposobem ujmowania wód w obszarach krystalicznych Sudetów są ujęcia: drenażowe i źródłane. Prawidłowo zlokalizowane ujęcia dostarczają znacznych ilości wody.

❑ Najbardziej miarodajnymi punktami badawczymi dla charakterystyki wód w obszarach krystalicznych Sudetów są ujęcia o wypływie samoczynnym (źródła, ujęcia drenażowe, sztolnie i galerie). Przeprowadzone badania wykazały tendencję poprawy jakości wód podziemnych wyrażającą się wzrostem pH (średnia wartość $6,6$).

❑ Standardowa analiza wód w utworach krystalicznych powinna w pierwszej kolejności obejmować określenie (w terenie lub/i w laboratorium) oraz opracowanie graficzne i statystyczne 18 parametrów fizykochemicznych (pH, przewodność elektrolityczną wody, 9 makroelementów — HCO_3 , SO_4 , NO_3 , Cl , SiO_2 , Ca , Mg , Na , K i 7 mikroelementów — F , Al , Fe , Mn , Zn , Ba , Sr).

❑ Wody eksploatowane ujęciami pionowymi, o wypływie wymuszonym i periodycznym (pompowanie, szczyptywanie wody), zawierają podwyższone ilości metali zwłaszcza Fe i Mn , często też Zn i Sr .

Literatura

- BIEROŃSKI J. 1997 — Hydrologia zlewni Kleśnicy. Praca doktorska. Arch. Inst. Geogr. Univ. Wrocław. Wrocław.
BOCHENSKA T., GURWIN J. & WĄSIK M. 1994 — Hydrogeologia zlewni Górnej Kaczawy. Acta Univ. Wratislaviensis 1684. Pr. Geol.-Min. 47. Wrocław.
CIĘŻKOWSKI W. 1990 — Studium hydrogeochemii wód leczniczych Sudetów polskich. Pr. Nauk. Inst. Geotec P. Wr., Ser. Monogr., 60. Wrocław.
CIĘŻKOWSKI W., KRYZA H., KRYZA J., PULINA M., ŘEHAK J., STAŠKO S. & TARKA R. 1997 — Wody podziemne Masywu Śnieżnika [W:] Masyw Śnieżnika — zmiany w środowisku przyrodniczym, rozdz. 9: 148–167. Polska Agencja Ekologiczna. Warszawa.

- GABRYSZEWSKI T. & WIECZYSTY A. 1985 — Ujęcia wód podziemnych. Arkady.
GUSTAFSSON G. & KRASNY J. 1994 — Crystalline rocks aquifers: their occurrence, use and importance. Applied Hydrogeology, 2: 64–75.
HOEG S., UHLENBROOK S. & LEIBUNDGUT CH. 2000 — Hydrograph separation in a mountainous catchment combining hydrochemical and isotopic tracers. Hydrol. Process., 14: 1199–1216.
JOKIEL P. 1994 — Zasoby, odnawialność i odpływ wód podziemnych strefy aktywnej wymiany w Polsce. Acta Geograph. Lodz., 66–67. Łódzkie Tow. Naukowe. Łódź.
KLECZKOWSKI A.S. 1979 — Hydrogeologia ziem wokół Polski. Wyd. Geol. Warszawa.
KLECZKOWSKI A.S. (red.) — 1990 Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) wymagających szczególnej ochrony. Inst. Hydrogeol. i Geol. Inż., Akad. Gór. Hutn. Kraków.
KOLAGO C. 1970 — Mapa hydrogeologiczna Polski 1: 1 000 000. Wyd. Geol. Warszawa.
KRASNY J. & KVET J. 1976 — K hydrogeologickému významu zlomu a puklin. Geologický průzkum 11: 330–331. UUG, Praha.
KRASNY J. 1993 — Prevailing of transmissivity of rocks in the Czech part of the Krkonoše and Jizerské Hory Mountains. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, VI: 79–86. Wrocław.
KRYZA H. 1983 — Wody podziemne północnej części Masywu Śnieżnika. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, II: 59–77. Wyd. Univ. Wrocław. Wrocław.
KRYZA J. 1983 — Systemy wodonośne Sudetów i obecny stan ich rozpoznania. [W:] Współczesne Problemy Hydrogeologii, II: 4–20. Wyd. Univ. Wrocław. Wrocław.
KNOPMAN D.S. & HOLLYDAY E.F. 1993 — Variation in specific capacity in fractured rocks, Pennsylvania. Ground Water, 31: 135–145.
LISZKOWSKI J. & STOCHLAK J. (red.). 1976 — Szczelinowatość maszyn skalnych. Wyd. Geol. Warszawa.
MARSZAŁEK H. 1996 — Hydrogeologia górnej części zlewni Kamiennej w Sudetach Zachodnich. Acta Universitatis Wratislaviensis 1881. Pr. Geol.-Mineral. 54. Wrocław.
MICHNIEWICZ M. 1978 — Badania hydrogeochemiczne wschodniej części osłony granitu Karkonoszy. Arch. OD PIG. Wrocław.
MICHNIEWICZ M. 1980 — Hydrogeologia wschodniej części osłony granitu Karkonoszy i zachodniej części niecki śródsudeckiej. Pr. doktorska. Arch. OD PIG. Wrocław.
MICHNIEWICZ M. 1983a — Badania hydrogeochemiczne SE części Gór Kaczawskich. Arch. OD PIG. Wrocław.
MICHNIEWICZ M. 1983b — Parametry szczelinowatości jako jeden z elementów charakterystyki warunków hydrogeologicznych w sudeckich wodonoścach szczelinowych. Mater. II Ogólnopolskiego Sympozjum Współczesne Problemy Hydrogeologii. Wyd. Univ. Wr. 90–98. Wrocław.
MICHNIEWICZ M. & MROCZKOWSKA B. 1976 — Hydrogeologia górnej części zlewni rzeki Bóbr. Arch. OD PIG. Wrocław.
MICHNIEWICZ M., MROCZKOWSKA B. & WOJTKOWIAK A. 1980 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 200 000 arkusz Jelenia Góra. Wyd. Geol.
MICHNIEWICZ M., MROCZKOWSKA B. & WOJTKOWIAK A. 1981 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 200 000 arkusz Wałbrzych. Wyd. Geol.
MICHNIEWICZ M., MROCZKOWSKA B. & WOJTKOWIAK A. 1987 — Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1 : 200 000 arkusz Kłodzko. Wyd. Geol.
PACZYŃSKI B. (red.) 1995 — Atlas Hydrogeologiczny Polski, Państw. Inst. Geol., Warszawa.
PAZDRO Z., KOZERSKI B. 1990 — Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol. Warszawa.
SAWICKI L. & TEISSEYRE H. 1969 — Mapa geologiczna Sudetów (bez utworów czwartorzędowych). Wyd. Geol.
STAŠKO S. 1996 — Wody podziemne w skałach krystalicznych na podstawie badań wybranych obszarów Sudetów polskich. Acta Univers. Wratisl., 1870. Pr. Geol.-Miner. 53. Wrocław.
STAŠKO S. 1997 — Zawodnienie skał krystalicznych Sudetów — zasoby, stopień ich rozpoznania i możliwości wykorzystania. Współczesne problemy Hydrogeologii VIII, 103–107. Wind. Wrocław.
STAŠKO S. 1999 — Wyniki hydrogeologicznych badań skał krystalicznych w Sudetach. Współczesne Problemy Hydrogeologii t. IX. Wyd. Państw. Inst. Geol.: 337–342. Warszawa.
TOMASZEWSKI J. T. 1972 — Charakterystyka krenologiczna masywu krystalicznego na przykładzie Karkonoszy. Praca doktorska. Arch. Inst. Geogr. Univ. Wrocław. Wrocław.
WOJTKOWIAK A. 2000 — Reżim źródeł obszarów krystalicznych Sudetów Zachodnich. Biul. Państw. Inst. Geol., 390: 167–206.