

Ocena możliwości eksploatacyjnych wód z utworów dewońskich w rejonie Cieszyn–Ustroń–Bielsko-Biała

Estimation of admissible volume of groundwater Devonian formations in the Cieszyn–Ustroń–Bielsko-Biała region

Tadeusz Szklarczyk¹, Andrzej Szczepański²

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza, Zakład Surowców Energetycznych, Kraków

² Akademia Górniczo-Hutnicza, Zakład Hydrogeologii i Ochrony Wód, Kraków

Abstract: Groundwaters which occur at a deep depth of Devonian formations have a high temperature (42–54°C) and character of brine ($M=89,19\text{--}167,84\text{ g/dm}^3$). Filtration parameters and groundwater recharge are weakly recognized. Measurements of confined groundwater surface led to errors because these waters have variable density. In this conditions only reduction of measure groundwater pressure permit to calculate filtration. Application of mathematical modelling make possible to describe groundwater circulation, water balance and estimate to renewable and disposable groundwater resources.

Key words: therapeutic waters, disposable resources, modelling of water balance

1. Wprowadzenie

Wody podziemne występujące na znacznych głębokościach są z reguły silnie zmineralizowane i cechują się temperaturami znacznie przekraczającymi 20°C. Rozpoznanie warunków zasilania, przepływu i drenażu wód w takich zbiornikach oraz ich parametrów hydrogeologicznych z reguły jest w niewielkim stopniu zadowalające. Również dane o rozkładzie ciśnień w poziomach wodonośnych ograniczone są do punktowego i jednorazowego pomiaru z okresu wiercenia otworów badawczych, rozpoznawczych lub poszukiwawczych.

W takiej sytuacji praktycznie tylko stosując metodę modelowania matematycznego, można pokusić się o szacunkową ocenę wielkości zasobów odnawialnych, dyspozycyjnych i eksploatacyjnych potencjalnych ujęć. Wielkości te można uzyskać po wykonaniu symulacji zmierzających do odtworzenia pseudonaturalnego rozkładu zwierciadła wód w polu filtracji, stworzonym po przeprowadzeniu redukcji

pomierzonych w otworach ciśnien panujących w zbiorniku. Uzyskane z modelu bilanse przepływu wody pozwalają na ocenę wielkości zasilania i drenażu kształtowanych w warunkach naturalnych, a po wprowadzeniu warunków brzegowych wewnętrznych (w postaci istniejących i potencjalnych ujęć wód podziemnych) także na możliwości ich eksploatacji (Szklarczyk, Witczak, 2002).

2. Redukcja ciśnień

W rejonie Cieszyn–Ustroń–Bielsko-Biała występuje poziom wodonośny wód silnie zmineralizowanych w utworach dolnego karbonu oraz środkowego i górnego dewonu (Michalik, 1972, 1973, 1978; Chowaniec, 1993; Rózkowski, 2001). Spękane i skrasowiałe utwory węglanowe tych formacji tworzą poziom wodonośny o wspólnych warunkach krążenia wód silnie zmineralizowanych (solanki – $M = 89,19\text{--}167,84 \text{ g/dm}^3$), termalnych ($42\text{--}54^\circ\text{C}$), typu Cl-Na-Ca i o zmiennej gęstości (średnia $1,1 \text{ kg/dm}^3$).

W takich warunkach dla wyznaczenia kierunków przepływu wód i gradientów hydraulicznych należy dokonać redukcji ciśnień pomierzonych w otworach, sprowadzając je do ciśnień równoważnych dla wody zwykłej ($M = 1 \text{ g/dm}^3$, temp. 20°C) wg formuły:

$$\gamma_{wo} \cdot H_{zred} = \frac{H}{z_2 - z_1} \int_{z_1}^{z_2} \gamma_{ws} dz \approx H \cdot \gamma_{ws}$$

stąd:

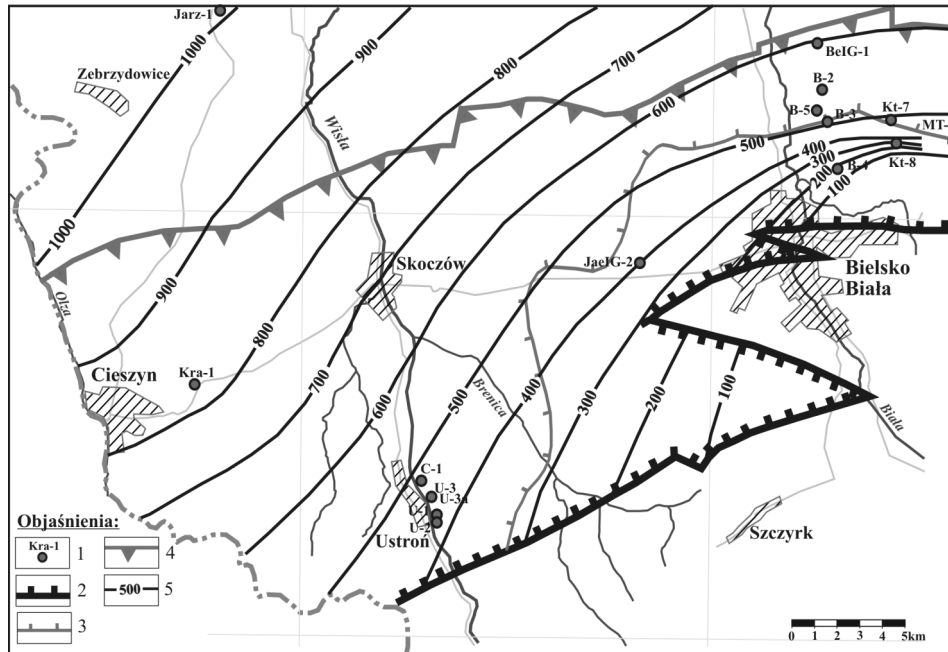
$$H_{zred} \approx H \cdot \frac{\gamma_{ws}}{\gamma_{wo}}$$

gdzie: H i H_{zred} – rzeczywista (zmierzona) i zredukowana wysokość naporu [m],
 γ_{wo} , γ_{ws} – ciężar właściwy wody: w naturalnych warunkach, zwykłej, uśredniony dla całej długości otworu [kg/m^3],
 z_1 , z_2 – rzędne: poziomu odniesienia, położenia zwierciadła wody w otworze [m n.p.m.].

Do redukcji ciśnień wykorzystano dane z otworów reperowych Ustroń U-3 i Kozy MT-3 (ryc. 1), gdyż tylko w tych otworach wykonane były badania hydrogeologiczne, które uznano za wiarygodne (tab. 1).

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że 1567 m słupa wody słodkiej w otworze U-3 równoważy 1458 m słupa wody zmineralizowanej (różnica 109 m), a w otworze MT-3: 1556 m słupa wody słodkiej równoważy 1423 m słupa wody zmineralizowanej – różnica 133 m.

Następnie, metodą kolejnych przybliżeń, dokonano redukcji ciśnień w 5 otworach wiertniczych, tj. U-1, U-3, C-1, Jea IG-2 i MT-3 (ryc. 1). W wyniku przeprowadzonej redukcji otrzymano następujące zredukowane wysokości naporu w otworach: U-1 – 342,0; U-3 – 341,0; C-1 – 340,7; Jea IG-2 – 332,7; MT-3 – 330,0 m n.p.m. (Szklarczyk, Witczak, 2002).

Ryc. 1. Mapa miąższości serii węglanowej $C_{dol} + D_{sr+g}$ (Krieger, Woźniak, 1998)

1 – otwory przewiercające spąg serii węglanowej; 2 – zasięg występowania serii węglanowej; 3 – zasięg występowania utworów kulmu; 4 – granica nasunięcia fliszu karpackiego; 5 – izolinie miąższości serii węglanowej [m]

Fig. 1. Map of Carbonate series (Krieger, Woźniak, 1998)

Tabela 1. Zestawienie danych i wyników redukcji ciśnień w otworach

Table 1. Data set and results of pressures reduction in boreholes

Wyszczególnienie	Numer otworu	
	U-3	MT-3
Dane:		
K – rzędna terenu [m n.p.m.]	413,0	339,0
M_z – mineralizacja wody złożowej [g/dm^3]	101,7	120,0
T_z – temperatura wody złożowej w środku badanego poziomu [$^{\circ}C$]	52,5	42,0
T_r – temperatura, do której redukowano ciśnienie [$^{\circ}C$]	20,0	20,0
H – rzeczywista (zmierzona) wysokość naporu [m]	181,0	142,0
γ_w – ciężar właściwy wody w danych warunkach [kG/m^3]	1,083	1,098
γ_{wo} – ciężar właściwy wody słodkiej dla średniej temperatury w otworze [kG/m^3]	0,993	0,995
γ_{ws} – ciężar właściwy wody uśredniony na całą długość otworu [kG/m^3]	1,075	1,092
z_1 – rzędna poziomu odniesienia [m n.p.m.]	-1226,0	-1226,0
z_2 – rzędna położenia zwierciadła wody w otworze [m n.p.m.]	232,0	197,0
Wyniki obliczeń:		
H_{zred} – zredukowana wysokość naporu [m n.p.m.]	341,0	330,0

Różnica ciśnień zredukowanych między otworami U-3 i MT-3 wynosi 11 m (tab. 1), stąd spadek hydrauliczny $J = 0,00039$ wskazuje na istnienie przepływu wód. Obszar zasilania znajduje się na SW od obszaru badań w Sudetach Wschodnich (Czechy), strefy drenażu leżą w rejonie Siewierza i Dębника.

Wiek wód ani też system ich krążenia nie zostały rozpoznane; można jedynie wnioskować, że przepływ wód odbywa się z SW na NE systemem spękań i szczelin, a rozwijające się procesy dolomityzacji i kras spowodowały wzrost przepuszczalności w wyniku powstania nowych dróg krążenia.

3. Badania modelowe

Celem wykonania badań modelowych było określenie systemu krążenia wód podziemnych, bilansów wodnych i ocena wielkości zasobów dyspozycyjnych zbiornika w tym rejonie. Badaniami objęto obszar o powierzchni ok. 760 km².

W modelu matematycznym (MODFLOW) symulowano przepływy w jednej warstwie wodonośnej, izolowanej od wód powierzchniowych oraz wód innych poziomów. Zasilanie zbiornika odbywa się na wychodniach utworów dewońskich na powierzchnię lub pod utworami czwartorzędowymi. Do stworzenia modelu przyjęto schemat hydrodynamiczny uzyskany z redukcji ciśnień w otworach oraz rzędne na wychodniach utworów dewonu w obszarach zasilania i drenażu. Parametry hydrogeologiczne uzyskane z badań w głębokich otworach wiertniczych stanowiły jedyną podstawę do przeprowadzenia obliczeń (tab. 2).

Obszar zdyskretyzowano siatką kwadratową o kroku 250 m w układzie 104 wiersze i 158 kolumn (powierzchnia ok. 1027 km²), z czego aktywnych było 12 150 bloków (powierzchnia 759 km²). Do budowy modelu wykorzystano mapy rzędnych stropu i spągu warstwy oraz jej miąższości (ryc. 1) autorstwa Kriegera i Woźniaka (1998).

Miąższość serii węglanowych utworów jest zmienna w granicach od 100 (rejon Bielska) do 800–1000 m (rejon Cieszyna i Zebrzydowic). W pierwszym etapie przyjęto średnią wartość $k = 0,075$ m/d ($9 \cdot 10^{-7}$ m/s). Za stan wyjściowy przyjęto układ zwierciadła zredukowanego dla wody słodkiej, odtwarzający warunki pseudonaturalne, uzyskany w czasie wykonanej redukcji. Warunki brzegowe I rodzaju ($H = \text{const}$) wprowadzono na konturach obszaru, symulując w ten sposób zasilanie i odpływ poza te granice (340 bloków), a warunki II rodzaju ($Q = 0$) wprowadzono we wszystkich pozostałych blokach modelu.

Taki model konceptualny poddano procesowi kalibracji metodą kolejnych przybliżeń, opierając się na 5 pomiarach w 5 otworach piezometrycznego ciśnienia wody. Korygowano w tym procesie warunki brzegowe oraz wartości przewodności warstwy wodonośnej. W efekcie uzyskano rozkład zmienności k w granicach 0,05 do 0,38 m/d (średnia wartość dla całego obszaru $0,125$ m/d = $1,4 \cdot 10^{-6}$ m/s).

W wyniku tego postępowania uzyskano mapę pola hydrodynamicznego (zredukowanych ciśnień) z rozbieżnością w stosunku do wartości mierzonych w punktach reperowych rzędu 0,3 m (Ustroń) i 1,0 m na peryferiach modelu (ryc. 2).

Tabela 2. Zestawienie danych i średnich wartości parametrów hydrogeologicznych otrzymanych na podstawie badań wykonanych w otworach wiertniczych w obszarze badań

Nr otworu na mapach	Rzędna terenu [m n.p.m.]	Głębokość otworu [m]	Seria węglanowa C _{del} +D _{Fr-B}													
			Strop [m p.p.t.]	Spąg [m p.p.t.]	Miaższość [m]	Interwał badany [m p.p.t.]	Współcz. filtracji [m/d]	Prze-puszczalność [mD]	Wydajność [m ³ /d]	Depresja [m]	Zw. wody ustalone [m p.p.t.]	Mineralizacja wody [g/dm ³]	Porowatość średnia [%]			
Jarz-1	260,4	4028,0	2957,0	3959,0	1002	3048,0–3898,0				51,4						0,62
Kra-1	328,1	2892,0	1948,0	2801,0	853	2089,0–2752,0				225,2				151,2		0,72
U-1	370,0	1316,5	1186,0	<1316,5	>131				0,1–10,0			160,0		74,7		
U-2	370,8	1380,0	1188,0	<1380,0	>192					240,0	5,0	181,0	101,7	74,2		3,20
U-3	413,0	1837,0	1272,3	1736,0	464	1278,0–1699,0	0,1123					202,0		120,8		
U-3a	413,4	1753,0	1278,8	1749,8	471							122,0				
C-1	351,2	1700,0	1210,0	1688,0	478	1210,0–1690,0						177,0		145,9		
Jae IG-2	352,0					1565,0–1642,0				264,0						
Kt-7	320,0					979,9–1373,6				388,8				131,0		1,04
Kt-8						1144,0–1231,5										2,62
Be IG-1	260,8					1525,8–1570,0				0,1–45,0						7,22
B-2	325,0					1119,8–1355,0				0,1–1,22						2,25
B-3						991,3–1074,3				0,1–73,6						2,18
B-4	366,0					1755,5–1830,1										3,40
B-5	290,0					1033,9–1452,5										0,86
Kozy MT-3	339,0	1500,0	1002,0	1452,0	450,0	1008,0–1447,0	0,35			993,6	93,5	142,0	120,0			3,47

Zdając sobie w pełni sprawę z dalekich uproszczeń, uznano stan ten za wyjściowy do sporządzenia bilansu wodnego i przeprowadzenia obliczeń prognostycznych.

W zakresie bilansu przepływu wód otrzymano:

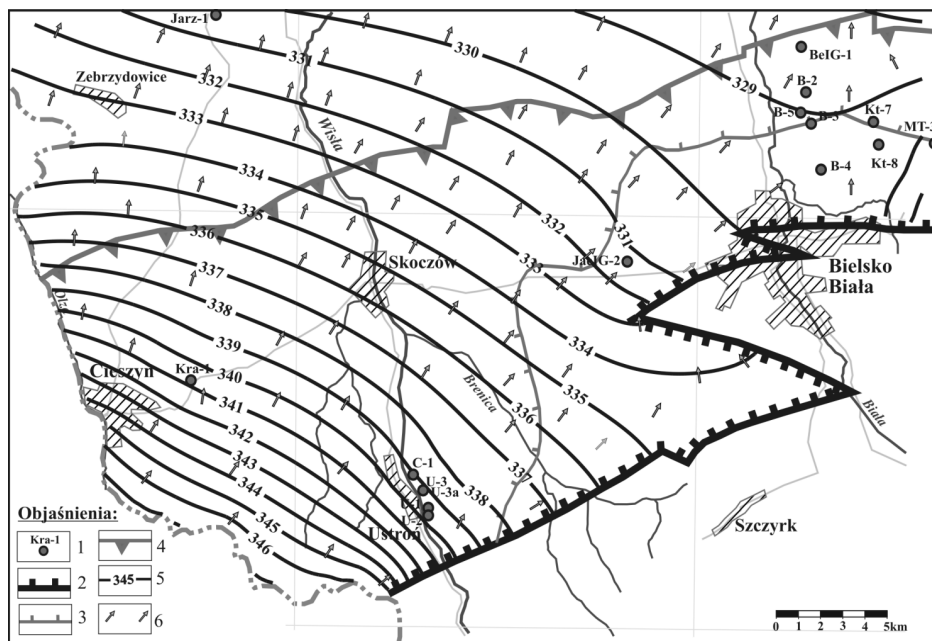
- dopływ poziomy do modelowanej części zbiornika wód – $2\,076,6\text{ m}^3/\text{d} = 86,5\text{ m}^3/\text{h}$,
- odpływ boczny (ku strefom drenażu) – $2\,076,6\text{ m}^3/\text{d} = 86,5\text{ m}^3/\text{h}$.

W tej sytuacji przyjęto, że wielkości te stanowią zasoby odnawialne modelowanej części zbiornika – $Q_{odn} = 2\,076,0\text{ m}^3/\text{d}$.

Ze względu na słabe rozpoznanie warunków krążenia wód i parametrów hydrogeologicznych warstw wodonośnych przyjęto założenie, że wielkość zasobów dyspozycyjnych wynosi zaledwie ok. 30% Q_{odn} . Taką też wielkość zasobów dyspozycyjnych $Q_{dysp} = 600\text{ m}^3/\text{d}$ przyjęli autorzy dokumentacji (Szklarczyk, Witczak, 2002).

Dalsze obliczenia symulacyjne przeprowadzono przy założeniu, że w zbiorniku pracują 3 ujęcia wód leczniczych w rejonie otworów: U-3 (Ustroń) z wydajnością $Q_e = 240\text{ m}^3/\text{d}$, Kra-1 (Cieszyn) z $Q_e = 240\text{ m}^3/\text{d}$ i Jae IG-2 z $Q_e = 120\text{ m}^3/\text{d}$ (ryc. 3). W ujęciach pobór symulowano warunkami II rodzaju: $Q = \text{const}$.

W efekcie pracy tych ujęć wytworzony zostanie wspólny lej depresyjny obejmujący ponad 75% modelowanej powierzchni zbiornika, zmieni się także bilans



Ryc. 2. Mapa hydrodynamiczna dewońskiego poziomu wg badań modelowych. Stan pseudo-naturalny

1 – otwory przewiercające spąg serii węglanowej; 2 – zasięg występowania serii węglanowej; 3 – zasięg występowania utworów kulmu; 4 – granica nasunięcia fliszu karpackiego; 5 – hydroizohipsy zredukowane [m n.p.m.]; 6 – kierunki przepływu wód podziemnych

Fig. 2. The hydrodynamical map of Devonian aquifer according to modelling results. Pseudo-natural state

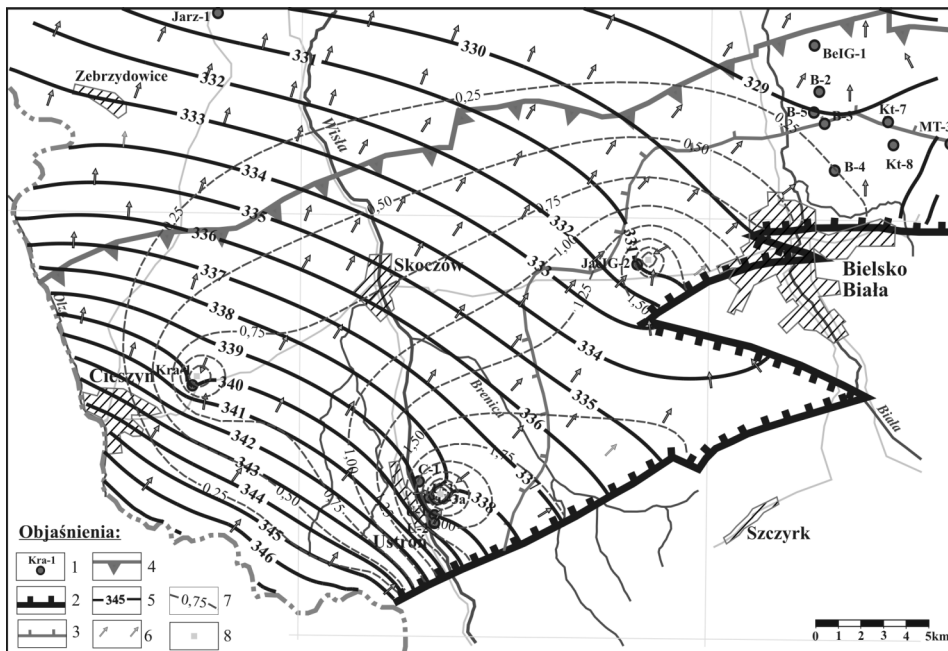
wodny przepływów: zwiększy się o ok. 19% (do 2 475 m³/d) zasilanie boczne, zmniejszy się, o ok. 10,7% (do 1 875 m³/d) odpływ boczny ku strefom drenażu.

Eksploatacja ujęć zmienia zatem bilans wodny, stanowiąc 24,2% ogólnej ilości wód bilansowych po stronie rozchodów oraz wymuszając wzrost intensywności zasilania bocznego o ok. 19% w stosunku do warunków kształtujących się pod wpływem czynników naturalnych.

Zasoby dyspozycyjne wód leczniczych (mineralnych) poziomu dewońskiego w obszarze bilansowym Cieszyn–Ustroń–Bielsko-Biała wynoszą 600 m³/d (28,9% zasobów odnawialnych).

Moduł zasobów dyspozycyjnych określono na 0,00915 l/s/km² i jest on mniejszy o 0,02285 l/s/km² od modułu zasobów odnawialnych określonych dla warunków naturalnych (0,0320 l/s/km²).

Przepływy wód w warunkach eksploatacji odbywać się będzie przy stosunkowo niewielkich spadkach hydraulicznych, które gwałtownie wzrosną dopiero w bezpośrednim sąsiedztwie ujęć wód. Ich eksploatacja spowoduje jednakże znaczące zmiany w polu hydrodynamicznym, a obszar wpływu obejmie prawie 75% powierzchni modelowanego obszaru.



Ryc. 3. Mapa hydrodynamiczna dewońskiego poziomu wg badań modelowych. Stan z eksploatacją ujęć wód w wysokości wnioskowanych zasobów dyspozycyjnych

1 – Otwory przewiercające spąg serii węglanowej; 2 – zasięg występowania serii węglanowej; 3 – zasięg występowania utworów kulmu; 4 – granica nasunięcia fliszu karpackiego; 5 – hydroizohipsy zredukowane [m n.p.m.]; 6 – kierunki przepływu wód podziemnych; 7 – izoliny depresji [m]; 8 – bloki z warunkami II rodzaju symulujące ujęcia wód

Fig. 3. The hydrodynamical map of devonian aquifer according to modelling results. Admissible groundwater Capture state on level disposable resources

Literatura

- Chowaniec J., 1993. Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne okolic Ustronia z uwzględnieniem wyników otworu chłonnego Ustroń C-1. W: Dulski K., Dokumentacja hydrogeologiczna odwiertu chłonnego C-1 w Ustroniu.
- Krieger W., Woźniak P., 1998. Mapa miąższości serii węglanowej Karbonu dolnego oraz Dewonu środkowego i górnego. PIG, Oddz. Górnośląski – opracowanie archiwalne.
- Michalik A., 1972. Dokumentacja hydrogeologiczna podziemnych wód mineralnych z utworów kredy i dewonu w Ustroniu pow. Cieszyn. PIG, Oddz. Karpacki, Kraków.
- Michalik A., 1973. Wody mineralne w polskiej części Karpat Zachodnich. Biul. IG nr 227, t. III. Wyd. Geol., Warszawa.
- Michalik A., 1978. Pionowa strefowość wód chlorkowych (solanek) w rejonie Ustronia. Biul. IG nr 312. Wyd. Geol., Warszawa.
- Rózkowski A., 2001. Środowisko hydrogeologiczne wód geotermalnych w utworach karbonu produktywnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia 5.
- Szklarczyk T., Witczak S., 2002. Ocena zasobów dyspozycyjnych wód mineralnych serii węglanowej (karbon dolny oraz dewon środkowy i górny) w rejonie Cieszyn–Ustroń–Bielsko-Biała na podstawie badań modelowych. W: Porwicz B. (kier. zespołu), Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów dyspozycyjnych wód leczniczych i towarzyszących lub występujących odrębnie wód potencjalnie leczniczych na obszarze Karpat i zapadliska przedkarpackiego, Ob. G-4976. PG S.A., Kraków.