

6. ZBIORNIK KREDY GÓRNEJ (CENOMANU) (ryc. 6.1–6.5, tab. 5)

Zainteresowanie wodami ze zbiornika cenomańskiego wzrosło znacznie z chwilą pojawienia się nowych technologii umożliwiających wykorzystanie dla celów geotermalnych wód podziemnych o temperaturach poniżej 20°C, dzięki zastosowaniu technologii pomp ciepła. Niskie temperatury wód zbiornika cenomańskiego wynikające ze stosunkowo płytkiego zalegania utworów cenomanu są rekompensowane znacznymi wydajnościami przekraczającymi niekiedy 100 m³/h – często w formie samowypływów.

W strefach gdzie utwory cenomanu kontaktują się od góry ze spękanymi i skrasowiałymi wapieniami turonu kompleksy te tworzą wspólny system hydrogeologiczny (Oszczypko, Tomasz 1976). Górne uszczelnienie zbiornika stanowią zwykle glaukonitowe margle santonu bądź zbite wapienie turonu. Podścielające osady górnej jury w zależności od stopnia spękania lub skrasowienia stanowią bądź dolne uszczelnienie warstwy, bądź źródło zasilania pośredniego (Burzewski 1969; Kotlicki 1971).

Występujące tutaj zasoby geotermalne należy zaliczyć do zasobów w utworach o dużej porowatości (przekraczającej 30%), w warunkach nadciśnień i ciśnień hydrostatycznych oraz o niskiej mineralizacji wód (Gryz, Kozień-Królikowska 1999). Niska mineralizacja stwarza możliwości wykorzystania ich zarówno do celów konsumpcyjnych, jak i energetycznych (jak np. w Słomnikach; Bujakowski, Barbacki 2000).

Najpełniej rozwinięte osady cenomanu występują wzdłuż centralnej strefy zbiornika biegnącej przez: Węgleszyn, Jędrzejów, Kazimierz Wielką, Koszyce, Szczurową i dalej pomiędzy Bochnią a Brzeskiem w kierunku Połomia Dużego. Brzegowe utwory zbiornika wykształcone są jako gruboklastyczne zlepienie o miąższości około 3,0 m. Im dalej w kierunku centrum basenu, tym materiał staje się drobniejszy i bardziej jednolity przy jednoczesnym wzroście miąższości całego kompleksu. Wraz ze wzrostem miąższości osadów wzrasta stopień ich zapiaszczenia, a tym samym polepszają się parametry zbiornikowe (Jawor 1970, 1999; Konior 1978). Przykładowo w profilach otworów z rejonu Połomia Dużego, Wiśnicza, Brzeźnicy, Rzezawy, Kamyka, Puszczy porowatości są w granicach 14–30%, a przepuszczalności od 780 mD do 6027 mD. Porowatości rzędu 25–35% obserwujemy jedynie w osiowej części zbiornika.

W centralnej strefie zbiornika panują warunki artezyjskie, a ciśnienia głowicowe przekraczają niekiedy 3,0 MPa. Samowypływy wód z otworów obserwowane były również w brzegowych partiach zbiornika. Samowypływy w strefach brzegowych, za wyjątkiem rejonu Słomniki-Zielona, nie przekraczają zwykle 10 m³/h, a ciśnienia na głowicach otworów 1,0 MPa (tab. 5).

Pod nasunięciem karpackim nie obserwuje się samowypływów wód ze zbiornika cenomańskiego, a zwierciadło stabilizuje się na głębokości od kilkunastu metrów poniżej poziomu terenu (np. Jadowniki na południe od Brzeska), kilkudziesięciu metrów w rejonie Dobczyc, do ponad 150 metrów poniżej poziomu terenu w rejonie Wiśnicza.

Temperatury wód i utworów cenomanu osiągają najwyższe wartości w strefie przykarpackiej (rejon Łątki), lecz największe wydajności wód rejestrowano w centralnej strefie zbiornika, gdzie temperatury dochodzą do 30°C (w „zatoce” Słomniki – Niepołomice ok. 20°C; Bujakowski 2001).

6. THE UPPER CRETACEOUS (CENOMANIAN) AQUIFER (Fig. 6.1–6.5, Tab. 5)

Interest in Cenomanian geothermal waters has risen with the increased application of new technologies – thermal pumps – which enable the utilization of geothermal groundwaters of temperatures below 20°C. The low temperatures in the Cenomanian aquifer, resulting from the relatively shallow depths, are off-set by high inflows, sometimes exceeding 100 m³/h, commonly under artesian flow conditions.

In the zones where Cenomanian sediments contact the overlying, fractured and karstified Turonian limestones, both reservoirs form a joint hydrogeological system (Oszczypko, Tomasz 1976). Caprocks are usually Santonian glauconitic marls or compact Turonian limestones. The underlying Upper Jurassic strata play the role of either the bottom seal or the source of indirect recharge, depending on the degree of fracturing or karstification (Burzewski 1969; Kotlicki 1971).

The geothermal resources are characterized by high reservoir porosity (over 30%), overpressures and hydrostatic pressures and low TDS (Gryz, Kozien-Krolikowska 1999). The latter characteristic enables the utilization of these resources as both drinking water and an energy source (as, for example, in Słomniki; Bujakowski, Barbacki 2000).

Cenomanian sediments are fully developed along the axial zone of the sedimentary basin: from Węgleszyn through Jędrzejów, Kazimierza Wielka, Koszyce, Szczurowa and further, between Bochnia and Brzesko towards Polom Duży. The marginal facies are coarse-clastic conglomerates, about 3 m thick. Towards the centre of the basin, the clastic material becomes finer and more uniform in composition and the thickness of the entire complex increases. The increasing thickness correlates well with the increasing content of sand fraction, which enhances the reservoir properties of rocks (Jawor 1970, 1999; Konior 1978). For example, in wells from Polom Duży, Wiśnicz, Brzeźnica, Rzezawa, Kamyk and Puszcza, porosity fall in the range of 14–30% and permeability from 780 to 6,027 mD. Higher porosities of 25–35% are observed only in the axial part of the sedimentary basin.

In the central part of the basin, artesian conditions predominate and wellhead pressures occasionally exceed 3.0 MPa. Artesian flows were also obtained from boreholes located in the marginal parts of the basin. Inflows from these wells are usually less than 10 m³/h (except for the Słomniki-Zielona area), however, and wellhead pressures reach 1.0 MPa (Tab. 5).

Beneath the Carpathian overthrust, artesian outflows from the Cenomanian aquifer were not observed and the groundwater table stabilised at depths ranging from a dozen meters below the surface (e.g., in Jadowniki, south of Brzesko) or several dozen meters (in the Dobczyce area) up to deeper than 150 meters below the surface in the Wiśnicz area.

The temperatures of the Cenomanian rocks and waters are highest at the margin of the Carpathians (Lakta area), whereas the highest inflows were recorded in the central part of the reservoir, where temperatures up to 30°C were found (in the so-called Słomniki – Niepołomice “bay” – about 20°C; Bujakowski 2001).

Tabela 5. Wybrane parametry hydrogeotermalne zbiornika cenomańskiego na obszarze zapadliska przedkarpackiego i niecki miechowskiej (na podstawie danych PIG, PGNiG S.A., prac: Oszczytko i Tomasz 1978, Jawor 1999, Gryz i Kozień-Królikowska 1999)

Nr otworu według ryc. 6.1	Nazwa otworu	Opróbowany interwał (m p.p.t.)	Temperatury wód (°C)	Wielkość przyływu (m³/h)	Mineralizacja (g/dm³)	Parametry zbiornikowe	
						Porowatość średnia (%)	Przepuszczalność średnia (mD)
1	Potok Mały IG-1	650,0–719,0	30*	36,0**	<1,0	29,10	1 380,0
2	Imielnica 1	682,0–827,0	30–35	2,0**	–	16,23	873,0
3	Michałów 3	575,0–750,0	25–30	6,0**	11,0	17,70	965,0
4	Wodzisław 2	462,5–470,0	21	4,2**	0,626	–	–
5	Uniejów 3	211,0–231,5	17	6,0	–	17,73	14,5
6	Opatkowice 2	770,0–775,0	30	7,2	30,8	8,17	nieprzepuszczalne
7	Niegosławice 1	495,0–537,5	22	9,3**	17,14	19,39	704,0
8	Koszyce 2	851,0–972,0	30–35	–	–	–	–
9	Kazimierza Wlk. 4	650,5–720,0	25–27	50,0	13,8	–	–
10	Wielgus 3	790,0–812,0	30–35	21,0**	–	–	–
11	Słomniki IG-1	231,0–234,5	18*	>100,0**	<1,0	–	–
12	Słomniki 4	132,0–134,0	18	120,0**	0,2	–	–
13	Słomniki GT-1	310	17*	53**	0,3	–	–
14	Zielona 1	187,5–190,0	20*	30,0**	0,7	–	–
15	Grobla 19	803,5–813,0	35	10,0**	15,0	–	–
16	Niepołomice 8	526,0–528,5	22	7,2**	10,0	1,42	nieprzepuszczalne
17	Niepołomice 3	581,0–582,5	24	**	–	–	–
18	Puszcza 13	1013,0–1030,0	30	1,8**	20,0	14,10	1 604,0
19	Rzezawa 1	1111,0–1190,0	35	66,0**	26,6	~20,00	~3 000,0
20	Brzeźnica 2	1315,0–1360,0	41	**	39,0	~15,00	781,0
21	Dobczyce 1	1897,0–1902,5	57	0,5	50,0	13,00	~70,0
22	Dobczyce 8	2147,0–2151,0	64	1,8	60,0	14,30	–
23	Borzęta IG-1	2192,0–2196,0	68*	–	80,0	–	–
24	Wiśniowa 6	2080,0–2095,0	63	brak przyływu	100,0	3,26	–
25	Wiśnicz 2	1585,0–1667,0	50	25,0	80,0	23,32	1 821,0
26	Połom Duży 2	2472,5–2582,0	76	–	115,2	15,32	392,0
27	Kamyk 1	1912,0–1935,0	58	33,0	115,6	11,84	423,0
28	Łąka 25	2388,3–2407,2	70*	–	110,0	~10,00	~100,0
29	Jadowniki 5	1673–1678	45	0,4	solanka	–	–

* Temperatury zmierzone, pozostałe oszacowane.

** Samowypływy wód.

Table 5. Selected hydrogeothermal parameters of the Cenomanian aquifer of the Carpathian Foredeep and the Miechow Trough (based on data obtained from the PGI and the POGC, after Oszczytko and Tomasz 1978, Jawor 1999, Gryz and Kozien-Krolikowska 1999)

Well no. after Fig. 6.1	Name of well	Tested interval (m below the surfaces)	Water temperature (°C)	Inflow (m³/h)	Total dissolved solids (g/dm³)	Reservoir parameters	
						Average porosity (%)	Average permeability (mD)
1	Potok Mały IG-1	650.0–719.0	30*	36.0**	<1.0	29.10	1,380.0
2	Imielnica 1	682.0–827.0	30–35	2.0**	–	16.23	873.0
3	Michałów 3	575.0–750.0	25–30	6.0**	11.0	17.70	965.0
4	Wodzisław 2	462.5–470.0	21	4.2**	0.626	–	–
5	Uniejów 3	211.0–231.5	17	6.0	–	17.73	14.5
6	Opatkowice 2	770.0–775.0	30	7.2	30.8	8.17	impermeable
7	Niegosławice 1	495.0–537.5	22	9.3**	17.14	19.39	704.0
8	Koszyce 2	851.0–972.0	30–35	–	–	–	–
9	Kazimierza Wlk. 4	650.5–720.0	25–27	50.0	13.8	–	–
10	Wielgus 3	790.0–812.0	30–35	21.0**	–	–	–
11	Słomniki IG-1	231.0–234.5	18*	>100.0**	<1.0	–	–
12	Słomniki 4	132.0–134.0	18	120.0**	0.2	–	–
13	Słomniki GT-1	310	17*	53**	0.3	–	–
14	Zielona 1	187.5–190.0	20*	30.0**	0.7	–	–
15	Grobla 19	803.5–813.0	35	10.0**	15.0	–	–
16	Niepołomice 8	526.0–528.5	22	7.2**	10.0	1.42	impermeable
17	Niepołomice 3	581.0–582.5	24	–**	–	–	–
18	Puszcza 13	1,013.0–1,030.0	30	1.8**	20.0	14.10	1,604.0
19	Rzezawa 1	1,111.0–1,190.0	35	66.0**	26.6	~20.00	~3,000.0
20	Brzeźnica 2	1,315.0–1,360.0	41	–**	39.0	~15.00	781.0
21	Dobczyce 1	1,897.0–1,902.5	57	0.5	50.0	13.00	~70.0
22	Dobczyce 8	2,147.0–2,151.0	64	1.8	60.0	14.30	–
23	Borzęta IG-1	2,192.0–2,196.0	68*	–	80.0	–	–
24	Wiśniowa 6	2,080.0–2,095.0	63	no inflow recorded	100.0	3.26	–
25	Wiśnicz 2	1,585.0–1,667.0	50	25.0	80.0	23.32	1,821.0
26	Połom Duży 2	2,472.5–2,582.0	76	–	115.2	15.32	392.0
27	Kamyk 1	1,912.0–1,935.0	58	33.0	115.6	11.84	423.0
28	Łąka 25	2,388.3–2,407.2	70*	–	110.0	~10.00	~100.0
29	Jadowniki 5	1673 – 1678	45	0.4	brine	–	–

* Measured temperatures, other estimated.

** Artesian flow.

7. ZBIORNIK KREDY GÓRNEJ (SENONU) (ryc. 7.1, tab. 6)

Utwory kredy górnej (senonu) budują najmniej znaczący zbiornik wód termalnych nie tylko ze względu na niekorzystne parametry zbiornikowe, ale również z powodu płytkiego zalegania. Jednocześnie na obszarze niecki miechowskiej jest to główny zbiornik wód podziemnych wykorzystywanych w celach konsumpcyjnych. Głównym poziomem wodonośnym jest górna, zwietrzała i spękana część zbiornika do głębokości około 50 m, a sporadycznie 100 m.

Na obszarze zapadliska przedkarpackiego poziom ten kontuuje się pod przykryciem utworów miocenu, czego potwierdzeniem są samowypływy solanek ze strefy erozyjnego kontaktu miocen – kreda.

Poziom wodonośny na obszarze zapadliska przedkarpackiego stanowi również powierzchnia erozyjna senon – jura górna w tych strefach, gdzie nie występuje wodonośny poziom turon – cenoman (Jawor 1970; Oszczypko, Tomasz 1976; Moryc 1976; Jurkiewicz, Szczerba 1976; Jurkiewicz, Kania 1999).

Występujące tu wody mogą osiągać temperatury od 10°C do 35°C na obszarze niecki miechowskiej i od 10°C do 60°C na obszarze zapadliska przedkarpackiego i w strefie przykarpackiej (tab. 6). Wykazują one znacznie zróżnicowaną mineralizację, od wody słodkiej na znacznym obszarze niecki miechowskiej (strefa przypowierzchniowa) do ponad 100 g/dm³ w strefie karpackiej (Pich 1978; Oszczypko 1981). Cały marglisty kompleks senonu zawarty pomiędzy zawodnionymi strefami stropową i spągową, osiągający w osiowej części niecki miechowskiej niemal 1000 m miąższości, wykazuje niekorzystne parametry zbiornikowe i generalnie stanowi termiczno-hydrauliczny ekran dla niżej leżących utworów mezozoiku. Na obszarze zapadliska przedkarpackiego strefa wgłębnego występowania wodonośnego stropowego poziomu górnej kredy zlokalizowana jest wzdłuż linii Pławowice – Mniszów – Grobla, gdzie obserwowano samoczynne wypływy zmineralizowanych solanek z otworów naftowych.

Temperatura wód zbiornika senońskiego na obszarze niecki miechowskiej, gdzie utwory kredy występują od powierzchni do głębokości około 800 m, zmienia się od 10°C w części stropowej do 32°C w części spągowej zbiornika. Na obszarze zapadliska przedkarpackiego temperatury wód zbiornika senońskiego zmieniają się w zakresie od 17°C (poziom stropowy) do 65°C (poziom spągowy), w zakresie głębokości poziomów wodonośnych od około 200 m do 2100 m p.p.t.

W brzeżnej strefie Karpat na południe od Tarnowa zarejestrowano najwyższą temperaturę w obrębie utworów senonu (pod fliszem i mioceniem) w rejonie miejscowości Zawada, gdzie na głębokości 2100 m, wynosiła ona około 68°C.

7. THE UPPER CRETACEOUS (SENONIAN) AQUIFER (Fig. 7.1, Tab. 6)

The Upper Cretaceous (Senonian) aquifer is of minor importance due to its unfavourable reservoir parameters and shallow depth. At the same time, in the Miechow Trough this is the principal groundwater reservoir used for the drinking water supply. The main groundwater horizon is located in the top, weathered and fractured portion, down to the depth of about 50 meters, rarely to 100 meters.

In the Carpathian Foredeep, the Senonian aquifer extends under the Miocene cover, as indicated by the brine outflow from the Miocene – Cretaceous erosional contact.

The groundwater horizon is located also at the Senonian – Upper Jurassic erosional interface when the Turonian-Cenomanian groundwater horizon is absent (Jawor 1970; Oszczypko, Tomasz 1976; Moryc 1976; Jurkiewicz, Szczerba 1976; Jurkiewicz, Kania 1999). Waters from this reservoir reach temperatures from 10 to 35°C in the Miechow Trough and from 10 to 60°C in the Carpathian Foredeep and at the margin of the Carpathians (Tab. 6). Waters exhibit high TDS variability: from fresh water in most of the Miechow Trough (near-surface zone) to over 100 g/dm³ in the Carpathians (Pich 1978; Oszczypko 1981). The entire Senonian marls complex, up to 1000 meters thick and encased between the water-saturated top and bottom zones, exhibits unfavourable reservoir parameters and is generally a thermal and hydraulic screen for the underlying Mesozoic strata. In the Carpathian Foredeep, the top of Upper Cretaceous succession, which is a deep groundwater horizon, is located along the Pławowice – Mniszów – Grobla line where artesian flows of brines were obtained from oil wells.

The temperature of waters in the Senonian aquifer in the Miechow Trough (where Cretaceous sediments crop out and continue down to about a depth of 800 meters) ranges from 10°C in the upper part to 32°C in the bottom part of the reservoir. In the Carpathian Foredeep, water temperatures in the Senonian aquifer range from 17°C (top part) to 65°C (bottom part) within a depth range from about 200 to 2,100 m below the surface.

In the marginal part of the Carpathians south of Tarnow, the highest temperature in the Senonian reservoirs beneath the flysch and the Miocene – about 68°C – was recorded in the Zawada village at a depth of 2,100 m.

Tabela 6. Wybrane parametry hydrogeotermalne zbiornika kredy górnej (senon) na obszarze niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpackiego (na podstawie danych PIG, PGNiG S.A.)

Nr otworu według ryc. 7.1	Nazwa otworu	Poziom stratygraficzny i opróbowany interwał (m p.p.t.)	Temperatury wód (°C)	Wielkość przyływu (m³/h)	Mineralizacja (g/dm³)	Parametry zbiornikowe	
						Porowatość średnia (%)	Przepuszczalność średnia (mD)
1	Książ Wlk. IG-1	kampan (200–206)	15	–	–	15	488
2	Pławowice 1	kontakt senon – miocen (317)	17	samowypływ	<10,0	~6,0	–
3	Podlipie 1	kontakt senon – jura (652–656)	25	samowypływ	solanka	–	–
4	Mniszów 1, 4, 5, 9, 11	kontakt senon – miocen i w obrębie senonu (300–500)	17–22	samowypływy	<10,0	~6,7	–
5	Grobla 29, 41, 63, 86, 96	kontakt senon – miocen (400–600)	20–24	samowypływy	<10,0	~7,0	–
6	Szczurowa 3	kontakt senon – miocen (489–500)	22	samowypływ	solanka + ropa	–	–
7	Pojawie 3	senon + turon + cenoman + jura (1080–1147)	32–35	21,4	solanka	–	–
8	Gruszów 1	senon + turon + jura (648–677)	25	samowypływ	<10,0	–	–
9	Wola Radłowska 2	senon + turon + jura (1195–1204)	35	~10	solanka	–	–
10	Wierzchosławice 2	senon + turon (1432–1440)	39	–	solanka	–	–
11	Tarnów 3	senon + turon (1603–1608)	45	–	solanka	–	–
12	Tarnów 7	kontakt senon – jura (1890–1928)	55	13,8	solanka	–	–
13	Zawada 2	kontakt senon – jura (2123–2135)	68*	30,0	93,0	–	–
14	Wiśnicz Stary 1	senon + turon + cenoman (1552–1582)	42	21,6	solanka	–	>100
15	Lepusznia 1	senon + turon (1892)	55	samowypływ	solanka	–	–
16	Rysie 9	senon (903–917)	28	7,3	2,57	–	–

* Temperatury zmierzone.

Table 6. Selected hydrogeothermal parameters of the Late Cretaceous (senonian) aquifer of the Miechow Trough and the Carpathian Foredeep (based on data obtained from the PGI and the POGC)

Well no. after Fig. 7.1	Name of well	Stratigraphy and tested interval (m below the surfaces)	Water temperature (°C)	Inflow (m³/h)	Total dissolved solids (g/dm³)	Reservoir parameters	
						Average porosity (%)	Average permeability (mD)
1	Książ Wlk. IG-1	Campanian (200–206)	15	–	–	15	488
2	Pławowice 1	Senonian – Miocene contact (317)	17	artesian flow	<10.0	~6.0	–
3	Podlipie 1	Senonian – Jurassic contact (652–656)	25	artesian flow	brine	–	–
4	Mniszów 1, 4, 5, 9, 11	Senonian – Miocene contact and within Senonian (300–500)	17–22	artesian flow	<10.0	~6.7	–
5	Grobla 29, 41, 63, 86, 96	Senonian – Miocene contact (400–600)	20–24	artesian flow	<10.0	~7.0	–
6	Szczurowa 3	Senonian – Miocene contact (489–500)	22	artesian flow	brine + oil	–	–
7	Pojawie 3	Senonian + Turonian + Cenomanian + Jurassic (1,080–1,147)	32–35	21.4	brine	–	–
8	Gruszów 1	Senonian + Turonian + Jurassic (648–677)	25	artesian flow	<10.0	–	–
9	Wola Radłowska 2	Senonian + Turonian + Jurassic (1,195–1,204)	35	~10	brine	–	–
10	Wierzchosławice 2	Senonian + Turonian (1,432–1,440)	39	–	brine	–	–
11	Tarnów 3	Senonian + Turonian (1,603–1,608)	45	–	brine	–	–
12	Tarnów 7	Senonian – Jurassic contact (1,890–1,928)	55	13.8	brine	–	–
13	Zawada 2	Senonian – Jurassic contact (2,123–2,135)	68*	30.0	93.0	–	–
14	Wiśnicz Stary 1	Senonian + Turonian + Cenomanian (1,552–1,582)	42	21.6	brine	–	>100
15	Lepusznia 1	Senonian + Turonian (1,892)	55	artesian flow	brine	–	–
16	Rysie 9	Senonian (903–917)	28	7.3	2.57	–	–

* Measured temperatures.

8. ZBIORNIKI PALEOGENSKO-MEZOZOICZNE KARPAT (ryc. 1.4, 1.5, 3.1–3.4, tab. 7)

Ze względu na zróżnicowanie budowy i historię geologiczną, Karpaty podzielone zostały na Karpaty wewnętrzne i Karpaty zewnętrzne, zwane Karpatami fliszowymi. Na terenie województwa małopolskiego, w Karpatach wewnętrznych, wyróżniono trzy jednostki geologiczno-strukturalne: Tatry, nieckę podhalańską i pieniński pas skałkowy (stanowiący strefę graniczną między Karpatami wewnętrznymi a zewnętrznymi).

Z uwagi na niepowtarzalne zasoby i parametry hydrogeotermalne, szczególne znaczenie na tle całych Karpat w obrębie województwa małopolskiego ma eoceno-mezozoiczny zbiornik podhalański.

W latach pięćdziesiątych XX wieku rozpoczęto prospekcję regionu tatrzańskiego i podhalańskiego metodami wiertniczymi. Do roku 2003 w obszarze niecki podhalańskiej wykonano 12 otworów, z których uzyskano dopływ wody termalnej.

Pośród utworów budujących jednostki tatrzańskie największe znaczenie dla zasilania i przepływu wód podziemnych mają spękane i skrasowiałe dolomity triasu środkowego, wapienie triasu i jury oraz kwarcyty jury.

Niecka podhalańska jest zbudowana z paleogeńskich utworów piaskowcowo-łupkowych leżących na mezozoicznych jednostkach tatrzańskich. Spągowa, transgresywną część paleogenu stanowią skały węglanowe wykształcone w postaci zlepieńców numulitowych i mułowców. Seria transgresywna nosi nazwę eocenu tatrzańskiego, eocenu węglanowego bądź numulitowego. Kompleks fliszowy niecki podhalańskiej o maksymalnej miąższości do 3000 m, wieku eocen środkowy–oligocen, został podzielony na następujące ogniwa litologiczne: warstwy szaflarskie występujące tylko w północnym skrzydle niecki podhalańskiej, warstwy zakopiańskie zalegające w północnym i południowym skrzydle, warstwy chochołowskie wypełniające środkową część oraz jako najmłodsze – warstwy ostryskie występujące tylko w zachodniej części niecki podhalańskiej.

Pieniński pas skałkowy, oddzielony od niecki podhalańskiej strefą zdyslokowaną, jest zbudowany ze skał węglanowych wieku jurajsko-kredowo-trzeciorzędowego

Karpaty zewnętrzne (fliszowe), będące najbardziej zewnętrzną jednostką Karpat, zbudowane są ze skał osadowych powstałych w zbiorniku geosynklinalnym. Są to różne odmiany piaskowców i łupków; podrzędnie występują margle, rogowce i wapienie wieku paleogeńsko-kredowego (Gołąb 1959; Watycha 1959; Sokółowski 1973; Małecka 1981; Chowaniec 1989; Chowaniec, Poprawa 1985; Birkenmajer 1986).

W rejonie tatrzańskim wodonośne są zarówno spękane i skrasowiałe skały węglanowe mezozoiku, jak i eocenu tatrzańskiego (numulitowego). Wodonośność mezozoicznych utworów tatrzańskich i eocenu zbadano w otworach wiertniczych wykonanych w rejonie podhalańskim (tab. 7). W strefie przytatrzańskiej, o szerokości około 1 km, w otworach tych stwierdzono wody zwykłe (np. w otworze

8. THE PALEOGENE-MESOZOIC AQUIFERS IN THE CARPATHIANS (Fig. 1.4, 1.5, 3.1–3.4, Tab. 7)

The Carpathian orogen was divided into the two parts according to its geological structure and history: Inner and Outer (Flysch) Carpathians. In the Malopolska Voivodship, the Inner Carpathians include three structural units: the Tatra Mountains, the Podhale Trough and the Pieniny Klippen Belt, the latter being the border zone between the Inner and the Outer Carpathians.

The most important geothermal aquifer in the Carpathians within the Malopolska Voivodship is located in the Eocene-Mesozoic strata of the Podhale Trough. This aquifer exhibits unique reserves and hydrogeothermal parameters.

Exploration of the Tatra Mountains and the Podhale Trough began in the 1950s. Up to 2003, in the Podhale Trough 12 wells were completed, from which inflows of geothermal waters were obtained.

Among the rock formations constituting the Tatra Mountains, the most important for the recharge and migration of groundwaters are fractured and karstified, Middle Triassic dolomites, Triassic and Jurassic limestones and Jurassic quartzitic sandstones.

The Podhale Trough comprises Paleogene sandstones and shales that rest upon the Mesozoic units of the Tatras. The bottom, transgressive part of Paleogene succession consists of carbonates, nummulitic conglomerates and mudstones. These rocks are widely known as “the Tatra Mountains Eocene” or “the carbonate Eocene” or “the nummulitic Eocene”. The flysch complex of the Podhale Trough, of maximum thickness up to 3,000 m, includes Middle Eocene–Oligocene sediments divided into the following units: the Szaflary Beds (which occur only in the northern limb of the trough), the Zakopane Beds (known from both the northern and southern limbs), the Chocholow Beds (which fill the central part of the trough) and latest Ostre Beds (developed only in the western part of the trough).

The Pieniny Klippen Belt, separated from the Podhale Trough by the tectonic zone, embraces Jurassic, Cretaceous and Tertiary carbonates.

The Outer (Flysch) Carpathians consist of sedimentary rocks deposited in geosynclinal basins: a variety of Paleogene to Cretaceous sandstones and shales with minor marls, lydites and limestones (Golab 1959; Watycha 1959; Sokółowski 1973; Małecka 1981; Chowaniec 1989; Chowaniec, Poprawa 1985; Birkenmajer 1986).

In the Tatra Mountains, groundwater horizons are both the fractured and karstified Mesozoic carbonates and the Tatra Mountains Eocene (“Nummulitic Eocene”). The water-bearing capacity of the Mesozoic and Eocene formations was tested in wells drilled in the Podhale region (Tab. 7). Normal groundwaters were encountered at the contact zone with the Tatras of about 1 km in width (*e.g.*, in the Hruby Regiel IG-2 well). Northward, the temperatures of groundwaters increased to 82°C in the Chocholow PIG-1, Banska IG-1 and Bialy Dunajec PAN-1 wells and to 86°C in the artesian Banska PGP-1 well (Chowaniec, Witek 2003).

Hrubby Regiel IG-2), zaś w kierunku na północ temperatura wód podziemnych wzrasta do 82°C w otworze Chochołów PIG-1, 82°C w otworze Bańska IG-1, 82°C w otworze Biały Dunajec PAN-1 i 86°C w otworze Bańska PGP-1 na samowypływie (Chowaniec, Witek 2003).

W regionie Karpat zewnętrznych wody podziemne związane są zarówno z utworami czwartorzędowymi, jak i z kredowo-paleogeńskim kompleksem fliszowym (Kolago 1983; Sokołowski 1985, 1992; Kępińska 1995, 1997). W granicach województwa wody termalne o znaczeniu energetycznym oraz balneologicznym zostały stwierdzone w Rabce oraz Porębie Wielkiej. Natomiast wody termalne o mniejszym znaczeniu stwierdzono zarówno w utworach fliszowych (paleogen i mezozoik), jak i w skałach podłoża Karpat (miocen, mezozoik, paleozoik) (ryc. 1.5):

- ✓ Skomielna Biała (otwór Skomielna Biała 1, temperatura 38°C, mineralizacja 11,15 g/dm³, jednostka magurska),
- ✓ Ciężkowice (otwór Ciężkowice 3, temperatura 32°C, mineralizacja 25,0 g/dm³, jednostka śląska),
- ✓ Sucha Beskidzka (otwór Sucha IG-1, temperatura 28°C, wydajność 0,56 m³/h, miocen podłoża),
- ✓ Potrójna (otwór Potrójna IG-1, temperatura 22°C, miocen i karbon podłoża).

Tabela 7. Wybrane parametry hydrogeotermalne zbiorników paleogeńsko-mezozoicznych Karpat (wg Chowaniec, Witek 2003)

Nr otworu według ryc. 1.5	Nazwa otworu	Poziom stratygraficzny i opróbowany interwał (m p.p.t.)	Temperatury wód (°C)	Wielkość przyływu (m ³ /h)	Mineralizacja (g/dm ³)
1	Chochołów PIG-1	trias (3218–3572)	82	190,0*	1,24
2	Siwa Woda IG-1	trzeciorzęd, trias (625–856)	20	3,95*	0,426
3	Furmanowa PIG-1	trzeciorzęd, jura (2003–2324)	60,5	96,0	0,58
4	Zakopane IG-1	jura (1091–1550)	37	169,2*	0,363
5	Zakopane 2	trzeciorzęd, trias (1091–1113)	26	273,0*	0,326
6	Poronin PAN-1	trias (1768–1917)	63	90,0*	1,14
7	Biały Dunajec PAN-1	trzeciorzęd, trias (2117–2394)	82	270,0*	2,62
8	Biały Dunajec PGP-2	trzeciorzęd, trias (2083–2450)	86	175,0*	2,7
9	Bańska IG-1	trzeciorzęd, trias (2565–2656)	82	120,0*	2,69
10	Bańska PGP-1	trzeciorzęd, trias (2731–3240)	86	max. 550,0*	3,12
11	Zazadnia IG-1	trzeciorzęd (665–680)	22	29,6*	0,19
14	Bukowina T. PIG/PNiG-1	jura, kreda (2390–2605)	67	60,0	1,49
18	Rabka IG-2	trzeciorzęd (1185–?)	28	4,5*	26,4
19	Poręba Wielka IG-1	trzeciorzęd (1830–?)	42	12,0*	21,0
28	Skomielna 1	trzeciorzęd, kreda	38	–	11,0
29	Ciężkowice 3	trzeciorzęd, kreda	32	–	25,0

* Samowypływy wód.

In the Outer Carpathians groundwaters occur in both the Quaternary sediments and the Cretaceous-Paleogene flysch complex (Kolago 1983; Sokolowski 1985, 1992; Kępińska 1995, 1997). In the Malopolska Voivodship, the geothermal waters suitable for power generation and balneology were found in Rabka and Poręba Wielka. Less important thermal waters were encountered in the flysch complexes (Paleogene, Mesozoic), as well as in the Carpathian basement (Miocene, Mesozoic, Paleozoic) (Fig. 1.5). The following locations are known:

- ✓ Skomielna Biała (the Skomielna Biała 1 well, temperature 38°C, TDS = 11.15 g/dm³, the Magura Unit),
- ✓ Ciężkowice (the Ciężkowice 3 well, temperature 32°C, TDS = 25.0 g/dm³, the Silesian Unit),
- ✓ Sucha Beskidzka (the Sucha IG-1 well, temperature 28°C, discharge rate 0.56 m³/h, basement Miocene),
- ✓ Potrójna (the Potrójna IG-1 well, temperature 22°C, basement Miocene and Carboniferous).

Table 7. Selected hydrogeothermal parameters of the Paleogene-Mesozoic aquifers of the Carpathians (after Chowaniec and Witek 2003)

Well no. after Fig.1.5	Name of well	Stratigraphy and tested interval (m below the surface)	Water temperature (°C)	Inflow (m ³ /h)	Total dissolved solids (g/dm ³)
1	Chochołów PIG-1	Triassic (3,218–3,572)	82	190.0*	1.24
2	Siwa Woda IG-1	Tertiary, Triassic (625–856)	20	3.95*	0.426
3	Furmanowa PIG-1	Tertiary, Jurassic (2,003–2,324)	60.5	96.0	0.58
4	Zakopane IG-1	Jurassic (1,091–1,550)	37	169.2*	0.363
5	Zakopane 2	Tertiary, Triassic (1,091–1,113)	26	273.0*	0.326
6	Poronin PAN-1	Triassic (1,768–1,917)	63	90.0*	1.14
7	Biały Dunajec PAN-1	Tertiary, Triassic (2,117–2,394)	82	270.0*	2.62
8	Biały Dunajec PGP-2	Tertiary, Triassic (2,083–2,450)	86	175.0*	2.7
9	Bańska IG-1	Tertiary, Triassic (2,565–2,656)	82	120.0*	2.69
10	Bańska PGP-1	Tertiary, Triassic (2,731–3,240)	86	max. 550.0*	3.12
11	Zazadnia IG-1	Tertiary (665–680)	22	29.6*	0.19
14	Bukowina T. PIG/PNiG-1	Jurassic, Cretaceous (2,390–2,605)	67	60.0	1.49
18	Rabka IG-2	Tertiary (1,185–?)	28	4.5*	26.4
19	Poręba Wielka IG-1	Tertiary (1,830–?)	42	12.0*	21.0
28	Skomielna 1	Tertiary, Cretaceous	38	–	11.0
29	Ciężkowice 3	Tertiary, Cretaceous	32	–	25.0

* Artesian flow.

9. ZBIORNIK MIOCEŃSKI (ryc. 8.1–8.2, tab. 8)

Znaczenie zbiornika miocenijskiego z punktu widzenia możliwości wykorzystania wód termalnych jest ograniczone nie tylko z powodu płytkiego zalegania poziomów wodonośnych, ale również niekorzystnych parametrów zbiornikowych tych utworów. Korzystne warunki zbiornikowe występują jedynie lokalnie, głównie w strefie przykarpackiej, gdzie w obrębie ilasto-mułowcowych, nadewaporatowych utworów miocenu pojawiają się soczewkowane kompleksy piaskowcowe związane przeważnie z utworami górnego badenu i rzadziej sarmatu (Ney i in. 1968, 1974; Garlicki 1968; Jawor 1970; Moryc 1970, 1976). Specyfika tych zbiorników to znaczne zasolenie występujących w nim wód, ograniczone rozmiary oraz nieduże wydajności wód. Trudność zdefiniowania stref zasilania tych kompleksów związana jest z tym, że posiadają one stropowe, spągowe i boczne uszczelnienie w postaci ilasto-mułowcowych utworów tej samej formacji. Głównymi drogami migracji płynów są zatem przypuszczalnie strefy dyslokacji tektonicznych (uskoki, płaszczyzny nasunięć) przecinające kompleksy piaskowcowe. Płyny mogą uwalniać się również w wyniku kompaktacji ilastych osadów miocenu migrując bezpośrednio do zbiornikowych kompleksów piaskowcowych (Oszczypko 1981, 1996). Większość wymienionych kompleksów miocenijskich w tej strefie zawiera akumulacje węglowodorów (Baran i in. 1999).

Kompleksy te nie posiadają kontaktu ze strefami zasilania bezpośredniego w rejonie powierzchniowych lub podczwartorzędowych wychodni utworów miocenu. Wody termalne występujące w omawianych zbiornikach (baden górny – sarmat) wykazują przeważnie temperatury do 35°C (sporadycznie powyżej 50°C pod nasunięciem karpackim), silnie zróżnicowany stopień mineralizacji (od wody słodkiej do 220 g/dm³) (Pich 1978), a ich wydajności dochodzą do 30 m³/h (tab. 8), przy czym w wielu otworach obserwowano zjawisko samowypływu wód. Oprócz piaskowcowych kompleksów górnego badenu stwierdzono poziom wodonośny związany ze zwietrzałą, erozyjną powierzchnią kontaktu miocen – kreda (m.in. rejon Proszowic) oraz miocen – flisz karpacki (rejon na S od Tarnowa).

Trudność określenia rzeczywistych możliwości wykorzystania wód z piaskowcowych kompleksów miocenijskich wynika przede wszystkim z braku badań dotyczących stabilności wydajności wód. Jest to istotne z punktu widzenia ograniczonego rozmiaru stref zbiornikowych, ich znacznej hermetyczności oraz związanej z tym ograniczonej wymiany płynów.

9. THE MIOCENE AQUIFER (Fig. 8.1–8.2, Tab. 8)

For the purpose of geothermal utilization, the importance of the Miocene aquifer is very limited, not only due to the shallow depth to groundwater horizons, but also to unfavourable reservoir parameters. Reasonable geothermal properties occur only locally, mainly close to the Carpathian margin, where the claystone-mudstone, supra-evaporite Miocene complex includes lensoidal sandstone bodies of, mostly, the Upper Badenian or, rarely, Sarmatian age (Ney 1968; Ney et al. 1974; Garlicki 1968; 1974; Jawor 1970; Moryc 1970, 1976). These reservoirs exhibit some peculiar features: limited size, high salinity and low inflows. Moreover, the recharge zones are difficult to identify because of the presence of top, bottom and lateral seals provided by rocks of the same formations. Thus, it is suggested that the tectonic zones (faults, overthrusts) are the migration routes and cut the sandstone bodies. Groundwaters may also originate from compaction of clayey Miocene sediments, from which they migrated directly to sandstone reservoirs (Oszczypko 1981, 1996). Most such Miocene complexes host hydrocarbon accumulations (Baran et al. 1999).

Sandstone reservoirs are not in hydraulic contact with direct recharge zones at the outcrops or sub-Quaternary subcrops. Geothermal waters from the Miocene (Upper Badenian-Sarmatian) reservoirs exhibit temperatures up to 35°C (sporadically over 50°C beneath the Carpathian overthrust), highly variable TDS (from fresh waters to 220 g/dm³, Pich 1978) and inflows up to 30 m³/h (Tab. 8). Artesian outflows were obtained from many wells. Apart from Upper Badenian sandstones, the groundwater horizon was identified at the weathered, erosional Miocene-Cretaceous interface (*e.g.*, in the Proszowice area) and at the Miocene-Carpathian flysch contact (area south of Tarnow).

A realistic evaluation of the geothermal potential of Miocene sandstones reservoirs is difficult due to a lack of data on the discharge stability of geothermal waters. This is crucial for further development as the reservoir zones are limited in size, highly “hermetic” and the circulation of geothermal fluids is strongly constrained.

Tabela 8. Wybrane parametry hydrogeotermalne zbiornika miocénskiego na obszarze środkowej części zapadliska przedkarpackiego (na podstawie danych PGNiG S.A.)

Nr otworu według ryc. 8.1	Nazwa otworu	Poziom stratygraficzny i opróbowany interwał (m p.p.t.)	Temperatury wód (°C)	Wielkość przyływu (m³/h)	Mineralizacja (g/dm³)	Parametry zbiornikowe	
						Porowatość średnia (%)	Przepuszczalność średnia (mD)
1	Załuże 1	baden górny + sarmat (370–385)	20**	60,0	solanka	–	–
2	Nieczajna Dln. 2	baden górny + sarmat (150–440)	15**	14,0	woda słodka	–	–
			17**	4,0	38,0	–	–
3	Nieczajna 5	baden górny + sarmat (204–627)	14**	samowypływ	woda słodka	–	–
			20**	30,0	79,0	–	–
4	Żukowice 8	baden grn. (785–1150)	25–32**	57,0	8,0–84,0	–	–
5	Żukowice 4	baden grn. (780–830)	26**	4,0	15,0	–	–
6	Łękawica 1	flisz (50–300)	50 (!)	?	–	–	–
7	Zawada 2	baden górny – flisz (1750–1775)	58	26,0	woda słodka (!)	–	–
8	Dąbrówka 10	baden górny + sarmat (576–656)	22**	24,0	solanka	10,0	2,0
9	Zagrody 1	baden górny + sarmat (585–610)	21**	24,0	70	6,0	1,0
10	Dąbrówka 19	baden górny + sarmat (580–750)	20–25**	22,0	72–122	–	–
11	Dąbrówka 7	baden górny + sarmat (576–602)	22**	18,0	solanka	15,0	200,0
12	Dąbrówka 2	baden górny + sarmat (415–442)	20**	1,2*	9,4	–	–
13	Dąbrówka 3	baden grn. (470–498)	21**	0,25*	29,7	–	–
14	Rzezawa 1	baden górny + sarmat (610–620)	21**	samowypływ	solanka	–	–
15	Grobla 1	baden dln. (461–470)	20**	samowypływ	solanka	9,0	–
16	Gierczyce 4	baden dln. (435–965)	20–30**	25	solanka	–	–
17	Nieznanowice 3	baden grn. (310–445)	28–35 (!)	3,0	11,5	10,0	~6,0

* Samowypływy wód.

** Temperatury oszacowane.

Table 8. Selected hydrogeothermal parameters of the Miocene aquifer in the central part of the Carpathian Foredeep (based on data obtained from the POGC)

Well no. after Fig. 8.1	Name of well	Stratigraphy and tested interval (m below the surface)	Water temperature (°C)	Inflow (m³/h)	Total dissolved solids (g/dm³)	Reservoir parameters	
						Average porosity (%)	Average permeability (mD)
1	Załuże 1	Upper Badenian + Sarmatian (370–385)	20**	60.0	brine	–	–
2	Nieczajna Dln. 2	Upper Badenian + Sarmatian (150–440)	15**	14.0	fresh water	–	–
			17**	4.0	38.0	–	–
3	Nieczajna 5	Upper Badenian + Sarmatian (204–627)	14**	artesian flow	fresh water	–	–
			20**	30.0	79.0	–	–
4	Żukowice 8	Upper Badenian (785–1,150)	25–32**	57.0	8.0–84.0	–	–
5	Żukowice 4	Upper Badenian (780–830)	26**	4.0	15.0	–	–
6	Łękawica 1	Flysch (50–300)	50 (!)	?	–	–	–
7	Zawada 2	Upper Badenian – Flysch (1,750–1,775)	58	26.0	fresh water (!)	–	–
8	Dąbrówka 10	Upper Badenian + Sarmatian (576–656)	22**	24.0	brine	10.0	2.0
9	Zagrody 1	Upper Badenian + Sarmatian (585–610)	21**	24.0	70	6.0	1.0
10	Dąbrówka 19	Upper Badenian + Sarmatian (580–750)	20–25**	22.0	72–122	–	–
11	Dąbrówka 7	Upper Badenian + Sarmatian (576–602)	22**	18.0	brine	15.0	200.0
12	Dąbrówka 2	Upper Badenian + Sarmatian (415–442)	20**	1.2*	9.4	–	–
13	Dąbrówka 3	Upper Badenian (470–498)	21**	0.25*	29.7	–	–
14	Rzezawa 1	Upper Badenian + Sarmatian (610–620)	21**	artesian flow	brine	–	–
15	Grobla 1	Lower Badenian (461–470)	20**	artesian flow	brine	9.0	–
16	Gierczyce 4	Lower Badenian (435–965)	20–30**	25	brine	–	–
17	Nieznanowice 3	Upper Badenian (310–445)	28–35 (!)	3.0	11.5	10.0	~6.0

* Artesian outflow.

** Estimated temperatures.

Tabela 9. Zestawienie stref–gmin Małopolski ze stwierdzonymi przypiływami wód termalnych o wartościach powyżej 20 m³/h lub z samowypływami wód termalnych

Strefa–gmina	Stratygrafia zbiornika	Średnia temperatura złożowa (°C)	Średnia głębokość poziomu wodonośnego (m)	Średnia wartość przypiływu (m ³ /h)
Biały Dunajec	jednostka regłowa (trias) + eocen	84	2270	200*
Bochnia	dewon	46	1500	15*
	jura górna	35	1170	1*
	cenoman	35	1180	2*
	miocen	25	700	25
Bolesław	jura górna	27	720	samowypływ
	senon	25	650	samowypływ
Borzęcin	senon	33	1010	21
Brzesko	jura górna	60	1900	1*
Bukowina Tatrzańska	jednostka regłowa (jura – kreda)	67	2500	60
Dąbrowa Tarnowska	trias	47	1540	samowypływ
	jura górna	28	900	samowypływ
	senon	25	660	samowypływ
Dębno	jura górna	54	2000	9*
Drwina	cenoman	35	810	10*
	senon	22	500	samowypływ
	miocen	20	470	samowypływ
Gdów	miocen	24	740	samowypływ
Kłaj	jura górna	34	810	0,3*
Kocmyrzów-Luborzyca	jura górna	22	380	30
Koszyce	cenoman	28	970	samowypływ
Kościelisko	jednostka regłowa (trias)	82	3400	190*
Kraków „Wschód”	dewon	40	1400	samowypływ
	jura górna	30	850	25*
Książ Wielki	trias	35	1080	5*
	jura środkowa	35	1010	4*
	jura górna	31	750	0,2*
Lisia Góra	miocen	29	960	57
Mędrzechów	jura górna	25	630	samowypływ
Niedźwiedź	jednostka dukielska (kreda)	42	1800	12*
Niepołomice	dewon	36	1200	>3*
	dogger	31	790	13*
	cenoman	23	550	7*
Nowy Wiśnicz	senon	42	1570	22
Pałacznica	jura górna	21	570	samowypływ

Table 9. Malopolska Voivodship communes with thermal water inflows above 20 m³/h or artesian thermal water flows

Zone-commune	Aquifer stratigraphy	Average aquifer temperature (°C)	Average aquifer depth (m)	Average inflow (m ³ /h)
Biały Dunajec	Regle unit (Triassic) + Eocene	84	2270	200*
Bochnia	Devonian	46	1500	15*
	Upper Jurassic	35	1170	1*
	Cenomanian	35	1180	2*
	Miocene	25	700	25
Bolesław	Upper Jurassic	27	720	artesian flow
	Senonian	25	650	artesian flow
Borzęcin	Senonian	33	1010	21
Brzesko	Upper Jurassic	60	1900	1*
Bukowina Tatrzańska	Regle unit (Jurassic – Cretaceous)	67	2500	60
Dąbrowa Tarnowska	Triassic	47	1540	artesian flow
	Upper Jurassic	28	900	artesian flow
	Senonian	25	660	artesian flow
Dębno	Upper Jurassic	54	2000	9*
Drwina	Cenomanian	35	810	10*
	Senonian	22	500	artesian flow
	Miocene	20	470	artesian flow
Gdów	Miocene	24	740	artesian flow
Kłaj	Upper Jurassic	34	810	0,3*
Kocmyrzów-Luborzyca	Upper Jurassic	22	380	30
Koszyce	Cenomanian	28	970	artesian flow
Kościelisko	Regle unit (Triassic)	82	3400	190*
Kraków „Wschód”	Devonian	40	1400	artesian flow
	Upper Jurassic	30	850	25*
Książ Wielki	Triassic	35	1080	5*
	Middle Jurassic	35	1010	4*
	Upper Jurassic	31	750	0,2*
Lisia Góra	Miocene	29	960	57
Mędrzechów	Upper Jurassic	25	630	artesian flow
Niedźwiedź	Dukla unit (Cretaceous)	42	1800	12*
Niepołomice	Devonian	36	1200	>3*
	Dogger	31	790	13*
	Cenomanian	23	550	7*
Nowy Wiśnicz	Senonian	42	1570	22
Pałacznica	Upper Jurassic	21	570	artesian flow

Tabela 9. cd.

Strefa–gmina	Stratygrafia zbiornika	Średnia temperatura złożowa (°C)	Średnia głębokość poziomu wodonośnego (m)	Średnia wartość przyprywy (m ³ /h)
Poronin	jednostka regłowa (trias)	60	1750	90*
Rabka	jednostka dukielska (kreda, paleocen)	28	1180	5*
Raclawice	dewon	32	1100	samowypływ
	jura środkowa	30	1000	20*
Radłów	trias	60	2200	samowypływ
Radogoszcz	miocen	20	620	22
Rzezawa	jura górna	40	1340	samowypływ
	cenoman	35	1150	70*
	miocen	23	500	24
Skrzyszów	trias	80	2900	~ samowypływ
	jura górna	75	2440	60*
	senon	68	2130	30
	miocen	58	1760	26
Słomniki	karbon	26	800	100 (?)
	jura środkowa	23	550	20
	jura górna	22	500	120* (?)
	cenoman	20	220	90*
Szaflary	jednostka regłowa (trias) + eocen	86	3000	~ 500*
Szczucin	jura górna	30	850	samowypływ
	miocen	20	380	60
Szczurowa	cenoman	30	1000	samowypływ
	senon	22	490	samowypływ
Tarnów	jura górna	55	1700	samowypływ
Wawrzeńczyce	jura górna	25	660	120*
Zakopane	jednostka regłowa (jura, trias) + eocen	45	1500	180*
Żabno	jura górna	53	1820	samowypływ

* Samowypływy wód.

Table 9. cont.

Zone-commune	Aquifer stratigraphy	Average aquifer temperature (°C)	Average aquifer depth (m)	Average inflow (m ³ /h)
Poronin	Regle unit (Triassic)	60	1750	90*
Rabka	Dukla unit (Cretaceous, Paleocene)	28	1180	5*
Raclawice	Devonian	32	1100	artesian flow
	Middle Jurassic	30	1000	20*
Radłów	Triassic	60	2200	artesian flow
Radogoszcz	Miocene	20	620	22
Rzezawa	Upper Jurassic	40	1340	artesian flow
	Cenomanian	35	1150	70*
	Miocene	23	500	24
Skrzyszów	Triassic	80	2900	~ artesian flow
	Upper Jurassic	75	2440	60*
	Senonian	68	2130	30
	Miocene	58	1760	26
Słomniki	Carboniferous	26	800	100 (?)
	Middle Jurassic	23	550	20
	Upper Jurassic	22	500	120* (?)
	Cenomanian	20	220	90*
Szaflary	Regle unit (Triassic) + Eocene	86	3000	~ 500*
Szczucin	Upper Jurassic	30	850	artesian flow
	Miocene	20	380	60
Szczurowa	Cenomanian	30	1000	artesian flow
	Senonian	22	490	artesian flow
Tarnów	Upper Jurassic	55	1700	artesian flow
Wawrzeńczyce	Upper Jurassic	25	660	120*
Zakopane	Regle unit (Jurassic, Triassic) + Eocene	45	1500	180*
Żabno	Upper Jurassic	53	1820	artesian flow

* Artesian outflow.

BIBLIOGRAFIA (BIBLIOGRAPHY)

- Baran U., Gliniak P., Jawor E., Urbaniec A., 1999 – *Perspektywiczność kompleksu górnej jury w rejonie Bochnia – Dębica w świetle badań sejsmicznych i wyników geologiczno-złożowych*. Przemysł Naftowy i Nauka Razem w XX wiek. Karpacka Konferencja Naukowa, Raba Wyżna: 85–94
- Baran U., Jawor E., Jawor W., 1997 – *Rozpoznanie geologiczne i wyniki prac poszukiwawczych za węglowodorami w zachodniej części polskich Karpat*. Przegląd Geologiczny, vol. 45, 1: 66–75
- Barbacki A.P., 1994 – *Analiza facji sejsmicznych w obrębie węglanowej sekwencji jurajskiej centralnej strefy przedgórze Karpat*. Nafta – Gaz, 4: 144–153
- Barbacki A.P., 2002 – *Geotermalny basen górnej jury centralnej części zapadliska przedkarpackiego i południowo wschodniej części niecki miechowskiej – budowa geologiczna i warunki hydrogeotermalne*. Przegląd Geologiczny, 9: 773–782
- Barbacki A.P., Kazanowska A., 2001a – *Środkowo jurajska formacja geotermalna centralnej części zapadliska przedkarpackiego i obszarów przyległych*. Przegląd Geologiczny, 10: 894–900
- Barbacki A.P., Kazanowska A., 2001b – *Cenomański wody geotermalne zapadliska przedkarpackiego i obszarów przyległych*. Przegląd Geologiczny, 6: 544–550
- Birkenmajer K., 1986 – *Zarys ewolucji geologicznej pienińskiego pasa skałkowego*. Przegląd Geologiczny, 6
- Bujakowski W., 2001 – *Ocena poziomu wodonośnego cenomanu w aspekcie jego wykorzystania w ciepłownictwie na obszarze woj. Małopolskiego*. Czasopismo Techniczne KTT, Kraków, 1–8: 66–71
- Bujakowski W., Barbacki A.P., 2000 – *System wykorzystania niskotemperaturowej wody geotermalnej dla celów ciepłowniczych i konsumpcyjnych w mieście Słomniki*. Czasopismo Techniczne KTT, Kraków, 3–8: 58–63
- Bujakowski W., Barbacki A.P., 2004 – *Potential for geothermal development in Southern Poland*. Geothermics, 33: 383–395
- Burzewski S.W., 1969 – *Strukturalne warunki jury olkusko-wolbromskiej jako brzegowe dla hydrodynamiki złóż naftowych niecki nidziańskiej*. Komisja Nauk Geologicznych PAN, Prace Geologiczne, 61
- Chowaniec J., 1989 – *Hydrogeologiczne warunki zasilania i przepływu wód podziemnych w utworach trzeciorzędowych Podhala między Zakopanem a Białym Dunajcem*. CAG OK, Kraków
- Chowaniec J., Poprawa D., 1985 – *Selected problems of hydrogeology of Podhale*. Proceeding reports of the XIII-th Congress of KBGA. Part. II. Poland – Cracow: 401–406
- Chowaniec J., Poprawa D., Witek K., 2001 – *Występowanie wód termalnych w polskiej części Karpat*. Przegląd Geologiczny, t. 49, 8: 734–742
- Chowaniec J., Witek K., 2003 – *Ocena możliwości występowania wód termalnych w karpackiej części województwa małopolskiego*. Archiwum IGSMiE-PAN, Kraków
- Dayczak-Calikowska K., Kopik J., 1973 – *Budowa Geologiczna Polski*. T. 1, cz. 2, Stratygrafia: 237–272
- Dayczak-Calikowska K., Moryc W., 1988 – *Rozwój basenu sedymentacyjnego i paleotektonika jury środkowej na obszarze Polski*. Kwartalnik Geologiczny, 32: 117–135
- Dąbrowska Z., Dembowska J., Malinowska L., 1973 – *Budowa Geologiczna Polski*. T. 1, Stratygrafia, cz. 2, Mezozoik – Jura górna: 325–389, Instytut Geologiczny
- Dowgiałło J., Karski A., Potocki I., 1969 – *Geologia surowców balneologicznych*. Wyd. Geologiczne, Warszawa
- Dudek J., 1980 – *Warunki geologiczno-strukturalne pułapek i parametry złożowe górnej jury w zapadlisku przedkarpackim*. Prace Instytutu Górnictwa Naftowego i Gazownictwa, 37
- Garlicki A., 1968 – *Autochtoniczna seria solna w miocenie Podkarpacia między Skawiną a Tarnowem*. Biuletyn Instytutu Geologicznego, 215, vol. XII. 5–77
- Gliniak P., Laskowicz R., Urbaniec A., 2001 – *Obecność skał zbiornikowych w późnojurajskich utworach węglanowych z uwzględnieniem ich rozwoju facjalnego w rejonie Zawada – Łękawica*. Nafta – Gaz, 11: 597–606
- Gołąb J., 1959 – *Zarys stosunków geologicznych zachodniego Podhala*. Biuletyn Instytutu Geologicznego, 149
- Gryz W., Kozień-Królikowska M., 1999 – *Charakterystyka hydrochemiczna wód utworów cenomanu przedgórze Karpat*. Karpacka Konferencja Naukowa, Raba Niżna, 78–86
- Jawor E., 1970 – *Wglębna budowa geologiczna na wschód od Krakowa*. Acta Geologica Polonica, vol. XX, nr 4: 709–762
- Jawor E., 1999 – *Aktualne spojrzenie na możliwości odkrycia nowych akumulacji węglowodorów w środkowej i zachodniej części Karpat i Przedgórze*. Mat. Konf. „Przemysł naftowy i nauka razem w XX wiek”, Karpacka Konferencja Naukowa, Raba Niżna '99
- Jawor E., Baran U., 1999 – *Regionalne rozpoznanie utworów paleozoiku w podłożu zapadliska przedkarpackiego*. Mat. Konf. „Przemysł naftowy i nauka razem w XX wiek”, Karpacka Konferencja Naukowa, Raba Niżna '99
- Jawor E., Baran U., 2001 – *Piaskowce cenomanu – rozpoznanie i perspektywy poszukiwawcze*. Nafta – Gaz, 2: 79–97
- Jurkiewicz H., 1974 – *Rozwój triasu na obszarze centralnej części Niecki Nidziańskiej*. Kwartalnik Geologiczny, vol. 18(1): 90–108
- Jurkiewicz H., 1975 – *Budowa geologiczna podłoża mezozoiku centralnej części niecki miechowskiej*. Biuletyn Instytutu Geologicznego, 283
- Jurkiewicz H., Królikowska-Maszońska D., 1990 – *Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego*. Włoszczowa IG-1. Z. 70, Państwowy Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Kania Z., 1999 – *Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego*. Jędrzejów IG-1. Z. 92, Państwowy Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Kania Z., Maszońska D., Szczerba A., 1974a – *Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego*. Milianów IG-1. Z. 21, Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Kania-Ciopińska W., Szczerba A., 1991b – *Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego*. Książ Wielki IG-1. Z. 71, Państwowy Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Markiewicz D., 1980 – *Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego*. Potok Mały IG-1. Z. 51, Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Maszońska D., 1994 – *Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego*. Secemin IG-1. Z. 77, Państwowy Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Maszońska D., Szczerba A., 1991a – *Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego*. Biała Wielka IG-1. Z. 74, Państwowy Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Maszońska D., 1995 – *Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego*. Brzegi IG-1. Z. 80, Państwowy Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Maszońska D., Szczerba A., Woiński J., 1973 – *Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego*. Węgrzynów IG-1. Z. 7, Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Maszońska D., Woiński J., 1974a – *Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego*. Węgleszyn IG-1. Z. 19, Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Maszońska D., Woiński J., 1976b – *Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego*. Pagów IG-1. Z. 33, Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Szczerba A., 1976 – *Wyniki badań termicznych centralnej części niecki miechowskiej i przyległego obszaru Gór Świętokrzyskich*. Biuletyn Instytutu Geologicznego, 296, t. 12
- Jurkiewicz H., Szczerba A., Woiński J., 1976a – *Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego*. Jarosław IG-1. Z. 34, Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Woiński J., 1993 – *Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego*. Boża Wola IG-1. Z. 76, Państwowy Instytut Geologiczny
- Jurkiewicz H., Żakowa H., 1972 – *Rozwój litologiczno-paleogeograficzny dewonu i dolnego karbonu w Niecce Nidziańskiej*. Kwartalnik Geologiczny, vol. 16, z. 4: 817–850

Kępińska B., 1995 – *Temperatura głównego poziomu wodonośnego pola geotermalnego Podhala*. Technika Poszukiwań Geologicznych. Geosynoptyka i Geotermia, 6, Kraków

Kępińska B., 1997 – *Model geologiczno-geotermalny niecki podhalańskiej*. Studia, Rozprawy, Monografie. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków, 48: 5–111

Kolago C., 1983 – *Nowa wersja podziału hydrogeologicznego Polski*. Kwartalnik Geologiczny, vol. 27, 2

Konior K., 1970 – *Własności kolektorskie metamorficzno-krystalicznego podłoża i utworów paleozoicznych południowego obrzeżenia GZW w obszarze Bielsko-Mogilany*. Geofizyka i Geologia Naftowa, Kraków, 9–10: 247–262

Konior K., 1973 – *Utwory syluru obszaru krakowskiego i sprawa ich bliższego rozpoznania wiertniczego*. Nafta, 9: 385–391

Konior K., 1978 – *Ogólna analiza paleostrukturna i charakterystyka skał zbiornikowych wypiętrzenia rzeszotarskiego i obszarów sąsiadujących*. Komisja Nauk Geologicznych PAN, Prace Geologiczne, 112: 3–63

Kotlicki S., 1962 – *Problemy hydrogeologiczne triasu regionu śląsko-krakowskiego*. Kwartalnik Geologiczny, vol. 6(4): 605–620

Kotlicki S., 1971 – *Chemizm wód podziemnych południowo-zachodniej części niecki miechowskiej*. Biuletyn Instytutu Geologicznego, 249: 65–133

Kruczek J., 1972 – *Dolomityzacja wapieni malmu a możliwości poszukiwawcze profilu Dąbrowa Tarnowska – Tarnów*. Nafta, 2: 49–54, Katowice

Kutek J., Matyja B.A., Wierzbowski A., 1984 – *Late Jurassic biogeography in Poland and its stratigraphical implications*. International Symposium on Jurassic Stratigraphy, vol. 3: 743–754, Copenhagen

Małecka D., 1981 – *Hydrogeologia Podhala*. Z. 14, Wyd. Geol., Warszawa

Małolepszy Z., 2000 – *Geosynoptyczny model pola geotermicznego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego* Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia, 3: 3–34

Matyja B.A., Gutowski J., Wierzbowski A., 1989 – *The open shelf – carbonate platform succession at the Oxfordian/Kimmeridgian boundary in the SW margin of the Holy Cross Mts.: stratigraphy, facies, and ecological implications*. Acta Geologica Polonica, vol. 39 (1–4): 29–48, PAN, Warszawa

Moryc W., 1970 – *Katalog Wierceń Górnictwa Naftowego*. Geonafta, t. I, cz. 3 i 4

Moryc W., 1971 – *Trias przedgórze Karpat środkowych*. Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, z. 3: 419–484

Moryc W., 1976 – *Katalog Wierceń Górnictwa Naftowego*. Geonafta, t. I, cz. 5

Morycowa E., Moryc W., 1976 – *Rozwój utworów jurajskich na przedgórzu Karpat w rejonie Dąbrowy Tarnowskiej – Szczucina*. Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, 46: 231–267

Motyka J., Wilk Z., 1976 – *Pionowe zróżnicowanie wodoprzepuszczalności węglanowych skał triasowych w świetle statystycznej analizy wyników próbnych pompowań (monoklina śląsko-krakowska)*. Kwartalnik Geologiczny, vol. 20 (2): 381–400

Ney R., 1968 – *Rola rygla krakowskiego w geologii zapadliska przedkarpackiego i rozmieszczeniu złóż ropy i gazu*. Komisja Nauk Geologicznych PAN, Warszawa, Prace Geologiczne, 45:1–85

Ney R., Burzewski W., Bachleđa T., Górecki W., Jakóbczak K., Stupczyński K., 1974 – *Zarys paleogeografii i rozwoju litologiczno-facjalnego utworów miocenu zapadliska przedkarpackiego*. Komisja Nauk Geologicznych PAN, Warszawa, Prace Geologiczne, 82: 1–73

Oszczypko N., 1981 – *Wpływ neogeńskiej przebudowy przedgórze Karpat na warunki hydrodynamiczne i hydrochemiczne zapadliska przedkarpackiego*. Biuletyn Instytutu Geologicznego, 325: 5–87

Oszczypko N., 1996 – *Miocenńska dynamika polskiej części zapadliska przedkarpackiego*. Przegląd Geologiczny, vol. 44, 10: 1007–1018

Oszczypko N., Tomasz A., 1978 – *Charakterystyka własności zbiornikowych osadów jurajskich na przedgórzu Karpat środkowych*. Kwartalnik Geologiczny, t. 22, 3: 585–599

Oszczypko N., Tomasz A., 1976 – *Kredowe poziomy wodonośne środkowej części Przedgórze Karpat*. Zeszyty Naukowe AGH Geologia, t. 2, z. 4: 79–91

Pich J., 1978 – *Chemizm wód podziemnych w środkowej części zapadliska przedkarpackiego*. Biuletyn Instytutu Geologicznego, 312: 129–190

Plewa S., 1994 – *Rozkład parametrów geotermalnych na obszarze Polski*. Wydawnictwo CPPGSMiE, PAN, Kraków

Program Ochrony Środowiska Województwa Małopolskiego na lata 2005–2012. Sejmik Województwa Małopolskiego, Kraków 2005

Program Zrównoważonego Rozwoju i Ochrony Środowiska Województwa Małopolskiego na lata 2001–2015 – Nasza Zielona Małopolska. Sejmik Województwa Małopolskiego, Kraków 2000

Raport z realizacji „Programu Zrównoważonego Rozwoju i Ochrony Środowiska Województwa Małopolskiego na lata 2001–2015 – Nasza Zielona Małopolska”. Zarząd Województwa Małopolskiego, Kraków 2005

Rózkowski A., 1996 – *Warunki występowania wód termalnych w masywie górnośląskim*. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia, 3–4: 9–12

Senkowiczowa H., 1973 – *Budowa Geologiczna Polski*. T. 1, Stratygrafia, cz. 2, Mezozoik – Trias: 15–118

Sokołowski J., 1985 – *Warunki występowania wód termalnych w niecce podhalańskiej*. Konferencja nt.: „Ocena możliwości eksploatacji wód termalnych w niecce podhalańskiej. Zakopane 21.08.1985. Mat. konf., Wyd. AGH, Kraków, 25–46

Sokołowski J., 1992 – *Dokumentacja geosynoptyczna otworu geotermalnego Bańska IG-1*. PAN CPPGSMiE, Kraków

Sokołowski S., 1973 – *Geologia paleogenu i mezozoicznego podłoża południowego skrzydła niecki podhalańskiej w profilu głębokiego wiercenia w Zakopanem*. Biul. Inst. Geol., 265: 5–74

Strategia rozwoju województwa małopolskiego. Sejmik Województwa Małopolskiego, Kraków 2000

Strategia rozwoju województwa małopolskiego na lata 2007–2013. Sejmik Województwa Małopolskiego, Kraków 2006