

## 2. ZBIORNIKI PALEOZOICZNE (ryc. 2.1–2.3, tab. 1)

Charakterystyczną cechą budowy geologicznej zbiorników paleozoiku na analizowanym obszarze jest występowanie utworów poszczególnych okresów geologicznych często w bardzo zredukowanej postaci, oraz hydrauliczna łączność poziomów wodonośnych różnych pięter (Oszczypko 1981; Pich 1978). Stwarza to dużą trudność w ocenie warunków hydrogeologicznych w obrębie poszczególnych pięter, szczególnie w aspekcie określania stref i sposobu ich zasilania, hydrodynamiki wód oraz identyfikacji poziomów uszczelniających. Najczęściej utwory starszego paleozoiku i prekambriu są nieprzepuszczalne, za wyjątkiem utworów kambru podłoża Karpat na SW od Krakowa (rejon Suchej Beskidzkiej) (Jawor 1970; Jawor, Baran 1999; Konior 1970, 1973, 1978; Moryc 1970, 1976).

Najkorzystniej pod względem wodonośności prezentują się utwory zbiornika dewońskiego i sporadycznie cechstyńskiego oraz karbońskiego. Utwory te na analizowanym obszarze wykazują jednak niskie parametry zbiornikowe (porowatości kilka procent, przepuszczalności kilkanaście mD), a rejon, w których stwierdzono znacznie większe przypiływy wód do otworów związane są zwykle z ich szczelinowatością w strefach dyslokacji tektonicznych.

Na obszarze niecki miechowskiej w obrębie pięter paleozoicznych występują warunki subartezyjne, a zwierciadło swobodne wód w otworach stabilizuje się na głębokości poniżej 100 m p.p.t. (Jurkiewicz 1974a; Jurkiewicz i in. 1972, 1973, 1974a, 1975, 1976, 1976a, 1976b, 1980, 1990, 1991a, 1991b, 1993, 1994, 1995, 1999). Na obszarze zapadliska przedkarpacciego pojawiają się już liczne przypadki samowypływów wód z otworów, szczególnie z poziomów dewońskich, przy czym ich wartości są nie większe niż 20 m<sup>3</sup>/h (Moryc 1970).

Duże zróżnicowanie głębokościowe występowania wodonośnych poziomów paleozoicznych tego obszaru (od ~300 do ~3000 m p.p.t.) implikuje znaczne zróżnicowanie mineralizacji wód począwszy od wód słodkich do solanek o mineralizacji dochodzącej do 210 g/dm<sup>3</sup>, jak również zróżnicowanie temperatury wód od około 17°C do 80°C (Plewa 1994) (tab. 1).

Zasoby energii geotermalnej pięter paleozoiku na analizowanym obszarze związane są głównie z wodami występującymi w zbiorniku dewońskim zapadliska przedkarpacciego, znaczenie zbiorników paleozoiku na obszarze niecki miechowskiej jest natomiast marginalne, głównie ze względu na lokalne występowanie stref o korzystnych parametrach zbiornikowych.

Charakterystycznym czynnikiem formowania warunków hydrogeologicznych są regionalne systemy dyslokacji, szczególnie o kierunkach NW–SE, obrzeżające wypiętrzenia prekambryjskie o zrzućtach uskoków przekraczających niekiedy 1000 m.

Utwory prekambryjskie, kambryjskie, sylurskie, ordowickie i permskie są najczęściej nieprzepuszczalne. Na analizowanym obszarze nie obserwowano z tych utworów żadnych przypiływów wód do ot-

## 2. THE PALEOZOIC AQUIFERS (Fig. 2.1–2.3, Tab. 1)

A characteristic feature of Paleozoic aquifers in the study area is the common, significant reduction of their thickness and hydraulic connections between groundwater horizons of various ages (Oszczypko 1981; Pich 1978;). Hence, evaluation of hydrogeological conditions in specific horizons is difficult, particularly in terms of recharge modes and zones, hydrodynamics and identification of seals. Usually, Lower Paleozoic and Precambrian formations are impermeable, except for Cambrian sediments known from the Carpathian basement southwest of Krakow (Sucha Beskidzka area) (Jawor 1970; Jawor, Baran 1999; Konior 1970, 1973, 1978; Moryc 1970, 1976).

Devonian, and rarely Permian and Carboniferous, aquifers exhibit the highest water capacity. These strata, however, have low reservoir parameters (porosity – several percent and permeability – a dozen mD). Larger inflows to water wells are related to the fracturing of rocks in tectonic zones.

In the area of the Miechow Trough, sub-artesian waters are known from the Paleozoic groundwater horizons. The groundwater table occurs at depths exceeding 100 m below the surface (Jurkiewicz 1974a; Jurkiewicz et al. 1972, 1973, 1974a, 1975, 1976a, 1976b, 1980, 1990, 1991a, 1991b, 1993, 1994, 1995, 1999). In the area of the Carpathian Foredeep, artesian flows of water from the wells are common, particularly from the Devonian horizons, but inflows are below 20 m<sup>3</sup>/h (Moryc 1970).

The significant depth variability of groundwater horizons in the Paleozoic strata in the study area (from ~300 to ~3,000 m below the surface) suggests a high diversity of TDS – from potable waters to brines of TDS reaching 210 g/dm<sup>3</sup> and high temperature diversity – from about 17 to 80°C (Plewa 1994) (Tab. 1).

Geothermal energy reserves of Paleozoic formations are located mostly in the Devonian aquifer of the Carpathian Foredeep, whereas in the Miechow Trough, the importance of Paleozoic groundwater horizons is only marginal due to the random distribution of favourable reservoir parameters.

A characteristic feature of hydrogeological conditions in the study area is the regional, NW-SE-striking tectonic zones, which encompass the Precambrian uplifts of vertical displacements that locally exceed 1,000 meters.

Precambrian, Cambrian, Sylurian, Ordovician and Permian strata are usually impermeable and, thus, do not provide inflows of water to the wells in the study area. The only exceptions are the Cambrian sediments in the Glogoczow IG-1, Mogilany 1 and Lachowice 7 wells, in which groundwater horizons were identified (Baran et al. 1997).

The most prospective source of geothermal energy is the Devonian aquifer in the Carpathian Foredeep, which exhibits the largest extent and most favourable reservoir parameters. The lower Devonian formation in the Carpathian Foredeep provided artesian flow of brines e.g., in the Wyciaze 6 and Niepolomice 11 wells.

worów bądź przypiływy te były znikome. Jedynie w osadach kambryjskich w otworze Głogoczów IG-1, Mogilany 1 i Lachowice 7 koło Suchoj Beskidzkiej stwierdzono poziomy wodonośne (Baran i in. 1997).

Najbardziej perspektywiczny jest zbiornik dewoński zapadliska przedkarpackiego wykazujący nie tylko największe rozprzestrzenienie, ale również najbardziej korzystne parametry zbiornikowe. Na obszarze zapadliska przedkarpackiego z utworów dewonu dolnego uzyskano samowypływy solanek m.in. w otworach Wyciąże 6 i Niepołomice 11.

Poziomy te zasilane są przypuszczalnie pośrednio poprzez kontakt z wyżejleżymi poziomami wodonośnymi jury i triasu. Korzystniejsze parametry zbiornikowe posiadają węglanowe utwory dewonu górnego i środkowego, co potwierdzają liczne samowypływy wód z otworów, w większości usytuowanych na linii Bochnia – Kraków Wschód – Słomniki. Samowypływy obserwowane w otworach Zalesie 1, Radzanów 2, Żółcza 1 we wschodniej części obszaru są prawdopodobnie związane z wyniesionymi strefami zasilania pośredniego i bezpośredniego w rejonie Gór Świętokrzyskich.

Zbiornik karboński odgrywa drugorzędą rolę i jedynie lokalnie wykazuje interesujące parametry zbiornikowe (Rózkowski 1996). Samowypływy obserwowano w otworach Zalesie 1 i Kryspinów 1, a przypiływy solanek w otworach Mniszów 16 i Zagość 2, jednak strefy te stanowią wyjątek.

Znacznie korzystniejsze parametry zbiornikowe wykazują utwory karbonu górnego wschodniej części zapadliska górnośląskiego w obrębie krakowskiej serii piaskowcowej, niezależnie od znacznych akumulacji wód podziemnych w obrębie istniejących i zamkniętych kopalń węgla kamiennego (KWK Janina, Brzeszcze i Siersza).

Mając na uwadze możliwości wykorzystania wód termalnych, szerszej analizie poddano zbiornik dewoński, dla którego podano rozkład temperatur utworów stropowych. Na obrazie rozkładu widoczne są dwie strefy dodatnich anomalii: strefa Radłowa i Żółczy. Obecność pierwszej strefy może być tłumaczona znaczną głębokością utworów dewonu, obecność strefy Żółczy związana jest natomiast przypuszczalnie z czynnikami tektonicznymi umożliwiającymi dopływ ciepła ze stref wysokotemperaturowych.

Temperatury wód i utworów dewońskich na tym obszarze mogą osiągać wartości wyższe nawet o kilkanaście stopni w stosunku do podanych, gdyż miąższość utworów dewonu na tym obszarze przekracza niekiedy 1000 m.

These horizons are recharged presumably indirectly, through hydraulic contacts with the overlying Jurassic and Triassic aquifers. Better reservoir conditions occur in the Upper and Middle Devonian strata, as confirmed by numerous artesian flows obtained in the wells located along the Bochnia – Krakow Wschod – Słomniki line. Artesian flows observed in the Zalesie 1, Radzanow 2 and Zolcza 1 located in the eastern part of study area are presumably related to uplifted zones of direct and indirect recharge in the Holy Cross Mountains.

The Carboniferous aquifer plays only a minor role as favourable reservoir conditions occur only locally (Rozkowski 1996). Artesian flows were observed in the Zalesie 1 and Kryspinow 1 wells and brine inflows were obtained from the Mniszow 16 and Zagość 2 wells. These zones, however, seem to be rather exceptions.

The Upper Carboniferous strata in the eastern part of the Upper Silesian Coal Basin have more potential. Here, the Krakow Sandstone Series is the groundwater horizon. Moreover, significant groundwater accumulations occur in operating and closed hard-coal mines (Janina, Brzeszcze and Siersza Coal Mines).

Considering the potential for geothermal energy, the Devonian aquifer was subjected to more detailed analysis, including temperature distribution in the top strata. Two zones of positive anomalies were observed: Radlow and Zolcza. The former can be explained by the significant depth to the Devonian, strata whereas the latter is presumably related to tectonic zones that facilitate heat transfer from deep-seated, high-temperature environments.

The temperatures of Devonian rocks and deposited waters may be higher than cited – even by a dozen degrees centigrade due to the significant thickness of the Devonian succession (locally over 1,000 m).

**Tabela 1.** Wybrane parametry hydrogeotermalne zbiorników paleozoicznych podłoża niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpackiego łącznie ze zbiornikiem permskim (na podstawie danych PIG, PGNiG S.A.)

Nr otworu według ryc. 2.1	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	Potok Mały IG-1	dewon środkowy (1805–1830)	52*	1,2	117	-	-
		dewon dolny (1862–1875)	54*	1,0	67	3,0	8,0
2	Węgrzynów IG-1	dewon środkowy (2604–3051)	75	3,0	210	-	-
3	Słomniki 2	karbon (800)	26	100(?)	słodka***	1,0	0,1
4	Skalbmierz 4	dewon (1083–1130)	32*	samowypływ	solanka***	-	-
5	Zalesie 1	karbon dolny (1567)	45	samowypływ	solanka	-	-
6	Radzanów 2	dewon (2430)	80*	samowypływ	169	-	-
7	Jadowniki 6	karbon dolny (2031–2066)	70*	7,65	solanka	-	-
8	Kryspinów 1	karbon dolny (340)	17*	9,0**	słodka	-	-
9	Puszcza 14	dewon górny (1292)	40*	samowypływ	słodka	-	-
		dewon środkowy (1472)	44*	3,0**	solanka	-	-
10	Cikowice 1	dewon środkowy (1417)	44*	15,0**	solanka	-	-
11	Łączycza 2	dewon środkowy (1614)	48*	samowypływ	solanka	-	-
12	Niepołomice 11	dewon górny i środkowy (897–922)	28*	samowypływ	solanka	~1,0	0,0
		dewon środkowy (1070–1125)	32*	samowypływ	solanka	-	-
13	Radłów 5	dewon górny i środkowy (2211–2290)	60*	>>1,0	solanka	-	-
14	Wyciąże 6	dewon górny i środkowy (1450–1800)	40–48*	samowypływ	solanka	~0,6	0,0
15	Wyciąże 4	dewon górny i środkowy (1000–1700)	30–45*	>>1,0	solanka	~1,0	0,0
16	Żółcza 1	dewon górny (2265)	90	>>1,0	solanka	-	-
17	Zagość 2	karbon dolny (1501–1590)	50*	3,8	solanka	-	-
18	Sucha B. IG-1	karbon (2267–3190)	74	1,1	solanka	-	-
19	Mniszów 16	dewon górny i środkowy (1157–1410)	40	2,0	solanka	-	-

\* Temperatury oszacowane.

\*\* Samowypływy wód.

\*\*\* Solanka: mineralizacja > 35 g/dm³; woda słodka: mineralizacja ≤ 1 g/dm³.

**Table 1.** Selected hydrogeothermal parameters of the Paleozoic aquifers of the basement of the Miechow Trough and the Carpathian Foredeep including the Permian aquifer (based on data derived from the PGI and the POGC)

Well no. after Fig. 2.1	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	Potok Mały IG-1	Middle Devonian (1,805–1,830)	52*	1.2	117	-	-
		Lower Devonian (1,862–1,875)	54*	1.0	67	3.0	8.0
2	Węgrzynów IG-1	Middle Devonian (2,604–3,051)	75	3.0	210	-	-
3	Słomniki 2	Carboniferous (800)	26	100(?)	fresh water***	1.0	0.1
4	Skalbmierz 4	Devonian (1,083–1,130)	30*	artesian flow	brine***	-	-
5	Zalesie 1	Lower Carboniferous (1,567)	45	artesian flow	brine	-	-
6	Radzanów 2	Devonian (2,430)	80*	artesian flow	169	-	-
7	Jadowniki 6	Lower Carboniferous (2,031–2,066)	70*	7.65	brine	-	-
8	Kryspinów 1	Lower Carboniferous (340)	17*	9.0**	fresh water	-	-
9	Puszcza 14	Upper Devonian (1,292)	40*	artesian flow	fresh water	-	-
		Middle Devonian (1,472)	44*	3.0**	brine	-	-
10	Cikowice 1	Middle Devonian (1,417)	44*	15.0**	brine	-	-
11	Łączycza 2	Middle Devonian (1,614)	48*	artesian flow	brine	-	-
12	Niepołomice 11	Upper and Middle Devonian (897–922)	28*	artesian flow	brine	~1.0	0.0
		Middle Devonian (1,070–1,125)	32*	artesian flow	brine	-	-
13	Radłów 5	Upper and Middle Devonian (2,211–2,290)	60*	>>1.0	brine	-	-
14	Wyciąże 6	Upper and Middle Devonian (1,450–1,800)	40–48*	artesian flow	brine	~0.6	0.0
15	Wyciąże 4	Upper and Middle Devonian (1,000–1,700)	30–45*	>>1.0	brine	~1.0	0.0
16	Żółcza 1	Upper Devonian (2,265)	90	>>1.0	brine	-	-
17	Zagość 2	Lower Carboniferous (1,501–1,590)	50*	3.8	brine	-	-
18	Sucha B. IG-1	Carboniferous (2,267–3,190)	74	1.1	brine	-	-
19	Mniszów 16	Upper and Middle Devonian (1,157–1,410)	40	2.0	brine	-	-

\* Estimated temperatures.

\*\* Artesian flow.

\*\*\* Brine: TDS > 35 g/dm³; fresh water: ≤ 1 g/dm³.

### 3. ZBIORNIK TRIASOWY

(ryc. 3.1–3.4, tab. 2)

Na terenie Polski wykorzystanie wód termalnych występujących w utworach triasowych ma miejsce na obszarze zbiornika podhalańskiego, gdzie wydajność wód z niektórych ujęć przekracza 500 m<sup>3</sup>/h (Sokolowski 1985). Bardziej szczegółowa charakterystyka zbiornika podhalańskiego znajduje się w rozdziale 8 dotyczącym wód termalnych Karpat.

Zbiornik triasowy w obszarze niecki miechowskiej i centralnej części zapadliska przedkarpackiego wykazuje odmienną budowę geologiczną niż zbiornik podhalański oraz inne cechy hydrogeologiczne (Moryc 1971; Senkowiczowa 1973; Jurkiewicz i in. 1972, 1973, 1974a, 1975, 1976, 1976a, 1976b, 1980, 1990, 1991a, 1991b, 1993, 1994, 1995, 1999). Posiada wyniesione obszary bezpośredniego zasilania kreujące niekiedy warunki artezyjskie, jednak ani parametry zbiornikowe ani miąższości i głębokości stref wodonośnych nie umożliwiają uzyskania podobnych parametrów hydrogeotermalnych jak w przypadku zbiornika podhalańskiego. Na analizowanym obszarze niecki miechowskiej głównym poziomem wodonośnym są utwory triasu górnego, głównie retyku. Lokalnie występują warunki artezyjskie, przy czym wydajności samowypływów nie przekraczają 10 m<sup>3</sup>/h przy ciśnieniach głowicowych poniżej 0,25 MPa (tab. 2). Zmiana cech hydrogeologicznych triasowego piętra wodonośnego następuje na obszarze zapadliska przedkarpackiego, gdzie osady retyku występują jedynie szczątkowo, a głównym poziomem wodonośnym jest poziom niższego pstrego piaskowca. Występuje tu wprawdzie również wodonośny poziom wapienia muszlowego, jednak korzystniejsze parametry zbiornikowe wykazuje on na obszarze niecki miechowskiej (Moryc 1970, 1976).

Pozostałe poziomy triasu, tj. kajper i ret, wykazują na analizowanym obszarze korzystne cechy zbiornikowe jedynie lokalnie i stanowią głównie uszczelnienie dla pozostałych poziomów wodonośnych triasu.

Z analizy danych litologicznych i hydrogeologicznych z obszaru niecki miechowskiej wynika, że stropowe uszczelnienie zbiornika triasowego na tym obszarze tworzą najczęściej margliste utwory keloweju bądź ilaste (w części stropowej) utwory retyku, a spągowe – głównie zlepieńce, iłowce oraz łupki paleozoiku i prekambriu.

Na obszarze zapadliska przedkarpackiego stropowe uszczelnienie zbiornika triasowego stanowią zwykle margliste utwory kajpru, keloweju lub oksfordu, a spągowe – słabo przepuszczalne iłowcowe i margliste utwory karbonu dolnego i dewonu.

Główne poziomy wodonośne triasu, w których występują wody termalne zbudowane są z utworów piaskowcowych retyku (niecka miechowska) i pstrego piaskowca niższego (zapadlisko przedkarpackie). Poziom wapienia muszlowego zbudowany z utworów węglanowych jedynie sporadycznie wykazuje korzystne parametry zbiornikowe (Kotlicki 1962; Motyka, Wilk 1976; Oszczytko 1981).

### 3. THE TRIASSIC AQUIFER

(Fig. 3.1–3.4, Tab. 2)

In Poland, the geothermal waters deposited in Triassic sediments are extracted from the Podhale aquifer, where discharge from some wells exceeds 500 m<sup>3</sup>/h (Sokolowski 1985). Chapter 8 contains a more detailed description of the Podhale aquifer (on geothermal waters in the Carpathians).

The Triassic aquifer encountered in both the Miechow Trough and the central part of the Carpathian Foredeep differs in geological structure and hydrogeological features from that of the Podhale area (Moryc 1971; Senkowiczowa 1973; Jurkiewicz et al. 1972, 1973, 1974a, 1975, 1976, 1976a, 1976b, 1980, 1990, 1991a, 1991b, 1993, 1994, 1995, 1999). Uplifted zones of direct recharge exist in the former two structures, however, which give rise to local artesian conditions; the reservoir parameters, thicknesses and depths to groundwater horizons preclude hydrogeothermal parameters similar to those found in the Podhale aquifer. In the Miechow Trough, the main groundwater horizon is located in the Upper Triassic (mostly Rhaetian). Locally, artesian conditions occur but inflows do not exceed 10 m<sup>3</sup>/h at wellhead pressures below 0.25 MPa (Tab. 2). The hydrogeological features of the Triassic aquifer change in the area of the Carpathian Foredeep where Rhaetian sediments are only locally developed and where the main groundwater horizon is located in the Lower Bunter. The Muschelkalk aquifer is also present, but it exhibits more favourable reservoir parameters only in the Miechow Trough (Moryc 1970, 1976).

The remaining Triassic aquifers: Keuper and Roeth only locally exhibit good reservoir parameters and instead provide sealing for the other Triassic horizons.

Analysis of lithological and hydrogeological data from the Miechow Trough indicate that the caprocks for the Triassic aquifer are mostly Callovian marls and clayey (in the upper part) Rhaetian sediments. The bottom seal is provided by Paleozoic and Precambrian conglomerates, claystones and shales.

In the Carpathian Foredeep, the caprocks are usually Keuper, Callovian or Oxfordian marls, whereas the bottom sealing horizons are low-permeable, Lower Carboniferous and Devonian claystones and marls.

The principal groundwater horizons in the Triassic succession, which hold geothermal waters, are Rhaetian sandstones (in the Miechow Trough) and Lower Bunter sandstones (in the Carpathian Foredeep). The Muschelkalk carbonates only sporadically exhibit favourable reservoir parameters (Kotlicki 1962; Motyka, Wilk 1976; Oszczytko 1981).

Geothermal resources accumulated in the Triassic aquifer are low-temperature (20–80°C) artesian or subartesian waters of highly variable TDS (1.36–235.0 g/dm<sup>3</sup>) (Pich 1978).

The Triassic aquifer is not an isolated hydrogeological system, separated from over- and underlying groundwater horizons.

Zasoby geotermalne zbiornika triasowego na analizowanym obszarze są zasobami o temperaturach od 20 do 80°C, występującymi w warunkach artezyjskich i subartezyjskich z wodami o silnie zróżnicowanej mineralizacji (1,36–235,0 g/dm<sup>3</sup>) (Pich 1978).

Zbiornik triasowy nie stanowi całkowicie odrębnego systemu hydrogeologicznego odizolowanego od wyżej i niżej leżących pięter wodonośnych.

Na obszarze niecki miechowskiej stropowe utwory retyku w facji ilasto-mułowcowej stanowiące jego stropowe uszczelnienie są nieciągłe, stąd wraz z poziomami liasu i/lub doggeru zbiornik triasowy tworzyć może wspólny system wodonośny. Ma to również miejsce na obszarze zapadliska przedkarpackiego w strefach występowania piaszczystych utworów doggeru.

Na analizowanym obszarze wyraźnie zaznacza się regionalna strefa o szczególnie korzystnych parametrach zbiornikowych biegnąca z rejonu podczwartorzędowych wychodni triasu na obszarze monokliny śląsko-krakowskiej w kierunku Dąbrowy Tarnowskiej i przypuszczalnie dalej pod Karpatami w kierunku południowo-wschodnim. Przebieg tej strefy pokrywa się nie tylko z trendem korzystnych parametrów zbiornikowych niemal we wszystkich poziomach zbiornikowych triasu, ale również z trendem występowania zjawiska samowypływów.

Zbiornik triasowy charakteryzuje się warunkami naporowymi i jedynie w strefie wychodni na obszarze monokliny śląsko-krakowskiej występują wody o zwierciadle swobodnym. Strefa ta stanowi główny obszar bezpośredniego zasilania zbiornika, przy czym zasadniczą rolę odgrywają tutaj odsłonięte, spękane i/lub skrasowiałe wapienie i dolomity retu i wapienia muszlowego. Zasilanie zbiornika ma również miejsce z obszaru południowo-wschodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich, gdzie utwory triasu mają wychodnie powierzchniowe i podczwartorzędowe. Zjawisko zasilania pośredniego może natomiast zachodzić poprzez kontakty typu erozyjno-transgresywnego np. z wodonośnymi utworami liasu, doggeru lub jury górnej.

Ważnym czynnikiem poszerzającym możliwości wykorzystania wód triasowych jest potwierdzony leczniczy charakter tych wód związany głównie z obecnością jonów bromu oraz jodu.

In the Miechow Trough, the claystone-mudstone Rhaetian caprocks are discontinuous. Hence, the Triassic aquifer can be in hydraulic contact with the Liassic and Dogger horizons, forming a joint groundwater system.

In the study area, the presence of a regional zone is evidence of particularly favourable reservoir parameters. This zone extends from sub-Quaternary subcrops of Triassic strata in the Silesian-Krakow Monocline towards the town of Dabrowa Tarnowska and further southeastward, under the Carpathians. This zone coincides with advantageous reservoir parameters in almost all Triassic groundwater horizons and with the trend of artesian outflows.

The Triassic aquifer shows a confined groundwater table. The unconfined conditions occur only in the area of outcrops (*i.e.*, in the Silesian-Krakow Monocline). This is the zone of direct recharge and the crucial role in recharge process is played by exposed, fractured and/or karstified Roeth and Muschelkalk limestones and dolomites. Moreover, the aquifer is recharged also from the southwestern margin of the Holy Cross Mountains where Triassic sediments crop out or subcrop beneath the Quaternary strata. The indirect recharge can be provided by erosional-transgressive contacts with Liassic, Dogger or Upper Jurassic groundwater horizons.

An important factor increasing the potential utilization of Triassic geothermal waters is their balneological value, as confirmed by the presence of bromine and iodine ions.

**Tabela 2.** Wybrane parametry hydrogeotermalne zbiornika triasowego na obszarze niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpackiego (na podstawie danych PIG, PGNiG S.A., prac: Oszczytko 1981, Pich 1978)

Nr otworu według ryc. 3.1	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	Węgrzynów IG-1	retyk (934–940)	30	1,74*	1,36	8,0	27,0
2	Uniejów 3	retyk (899–985)	30**	0,1*	14,5	–	–
		wapień muszl. (1001–1006)	32**	0,4*	10,3	–	–
3	Książ Wielki IG-1	retyk (965–975)	31**	3,0*	26,0	2,0	–
		wapień muszl. (1073–1092)	33**	2,4*	14,0	4,5	40,0
4	Trzonów 2	wapień muszl. (1153–1185)	38	(*)	6,4–11,7	–	–
		ret (1203–1225)	39	0,2*	10,9	–	–
5	Lipówka 1	ret (1400)	43**	9,0	13,0	–	–
6	Ostrów 1	kajper (1548–1560)	44**	3,6*	~60,0	20,0 (max.)	–
7	Dobiesławice 1	pstry piaskowiec (1617–1800)	45**	~10,0*	40,0	15,0 (max.)	–
8	Zalesie 1	pstry piaskowiec (1353)	40**	(*)	~100,0	–	–
9	Smęgorzów 3a	ret (1535–1545)	47**	(*)	~100,0	~2,0	–
10	Podborze 10	pstry piaskowiec (2220–2230)	60**	(*)	~130,0	22,0	~300,0
11	Radłów 1	pstry piaskowiec (2193–2240)	60**	(*)	~100,0	3,5	–
12	Pawężów 3	pstry piaskowiec (1927–1980)	55	10,0	~120,0	15,0	51,0
13	Pogórska Wola 8	pstry piaskowiec (2885–2910)	80**	solanka do powierzchni	177,0	–	–
14	Żerniki 1	kajper? (500)	25	?	108,0	–	–

\* Samowypływy wód.

\*\* Temperatury oszacowane.

**Table 2.** Selected hydrogeothermal parameters of the Triassic aquifer of the Miechow Trough and the Carpathian Foredeep (based on data obtained from the PGI and the POGC, after Oszczytko 1981, Pich 1978)

Well no. after Fig. 3.1	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	Węgrzynów IG-1	Rhaetian (934–940)	30	1.74*	1.36	8.0	27.0
2	Uniejów 3	Rhaetian (899–985)	30**	0.1*	14.5	–	–
		Muschelkalk (1,001–1,006)	32**	0.4*	10.3	–	–
3	Książ Wielki IG-1	Rhaetian (965–975)	31**	3.0*	26.0	2.0	–
		Muschelkalk (1,073–1,092)	33**	2.4*	14.0	4.5	40.0
4	Trzonów 2	Muschelkalk (1,153–1,185)	38	(*)	6.4–11.7	–	–
		Roeth (1,203–1,225)	39	0.2*	10.9	–	–
5	Lipówka 1	Roeth (1,400)	43**	9.0	13.0	–	–
6	Ostrów 1	Keuper (1,548–1,560)	44**	3.6*	~60.0	20.0 (max)	–
7	Dobiesławice 1	Bunter (1,617–1,800)	45**	~10.0*	40.0	15.0 (max)	–
8	Zalesie 1	Bunter (1,353)	40**	(*)	~100.0	–	–
9	Smęgorzów 3a	Roeth (1,535–1,545)	47**	(*)	~100.0	~2.0	–
10	Podborze 10	Bunter (2,220–2,230)	60**	(*)	~130.0	22.0	~300.0
11	Radłów 1	Bunter (2,193–2,240)	60**	(*)	~100.0	3.5	–
12	Pawężów 3	Bunter (1,927–1,980)	55	10.0	~120.0	15.0	51.0
13	Pogórska Wola 8	Bunter (2,885–2,910)	80**	Brine up to the surface	177.0	–	–
14	Żerniki 1	Keuper? (500)	25	?	108.0	–	–

\* Artesian flow.

\*\* Estimated temperatures.

#### 4. ZBIORNIK JURY ŚRODKOWEJ (DOGGERU) (ryc. 4.1–4.6, tab. 3)

W obrębie piętra jurajskiego piaskowcowe utwory doggeru odznaczają się najlepszymi parametrami zbiornikowymi. Bezpośredni kontakt tych utworów ze spękanymi i skrasowiałymi utworami jury górnej jest bardzo korzystny dla akumulacji wód termalnych migrujących ze stref bezpośredniego i pośredniego zasilania. Potwierdzają to liczne przypadki samowypływów wód z utworów doggerskich obserwowane głównie w obszarach zwiększonej miąższości tych utworów. Znaczenie tego zbiornika obniża natomiast silna zmienność parametrów zbiornikowych związana głównie ze złożonym charakterem środowisk sedymentacji w okresie jego formowania (Konior 1978). Objawia się to w postaci ostrych granic litologicznych, nieregularnym przebiegiem stref zbiornikowych oraz złożoną relacją pomiędzy porowatością i przepuszczalnością (tab. 3).

Zbiornik budują głównie utwory bajosu (kujawu) i batonu tworzące wspólny system hydrauliczny uszczelniony od góry nieprzepuszczalnymi węglanowymi osadami keloweju lub marglistymi osadami oksfordu (Jawor 1970; Jawor, Baran 2001; Dayczak-Calikowska, Kopik 1973; Dayczak-Calikowska, Moryc 1988). W rejonie Krakowa, Myślenic, Bochni, Brzeska, Kazimierza Wielkiej, Miechowa – również piaskowcowe osady górnego keloweju stanowią składową zbiornika doggerskiego. Dolne uszczelnienie na obszarze niecki miechowskiej tworzą głównie nieprzepuszczalne osady triasu, a na obszarze zapadliska przedkarpacciego i Karpat – triasu i paleozoiku. Zarówno osady oksfordu, triasu jak i paleozoiku szczególnie w strefach dyslokacji oraz występowania facji porowatych mogą stanowić źródło zasilania pośredniego.

Występujące tu zasoby geotermalne należy zaliczyć do zasobów w utworach o zmiennych parametrach zbiornikowych, z wodami występującymi w warunkach artezyjskich lub subartezyjskich oraz o mineralizacji od niskiej (w strefie niecki miechowskiej) do wysokiej (w rejonie Brzeska) (Oszczypko, Tomasz 1978; Barbacki, Kazanowska 2001b)

Zbiornik środkowojurajski charakteryzuje się warunkami naporowymi i prawdopodobnie jedynie w strefie wychodni na zachód od Krakowa występują wody o zwierciadle swobodnym. Ciśnienia złożowe oscylują w granicach ciśnień hydrostatycznych, ale częste są przypadki samowypływów (np. strefa pomiędzy otworami Raclawice 2 i Ostrów 1). Mierzone ciśnienia głowicowe w otworach wynosiły od około 0,17 MPa w rejonie niecki miechowskiej do około 1,1 MPa w rejonie Tarnowa (otwór Pawezów 3).

Nie obserwuje się natomiast samowypływów wód począwszy od linii nasunięcia karpacciego na południe, gdzie zwierciadło stabilizuje się na głębokościach od około 50–200 m p.p.t. (strefa Dobczyce – Raciborsko). Obszarem zasilania zbiornika środkowojurajskiego kreującym jednocześnie warunki artezyjskie są podczwartorzędowe i powierzchniowe wychodnie tych utworów w rejonie monokliny śląsko-krakowskiej i południowo-zachodniego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Obszary wychodni

#### 4. THE MIDDLE JURASSIC (DOGGER) AQUIFER (Fig. 4.1–4.6, Tab. 3)

In the Jurassic aquifer, Dogger sandstones exhibit the best reservoir parameters. Direct contact of these sediments with fractured and karstified Upper Jurassic carbonates is very beneficial to the accumulation of geothermal waters migrating from the direct and indirect recharge zones, which is confirmed by numerous artesian flows from the Dogger strata obtained occurring in the area of their increased thickness. The importance of the Dogger aquifer, however, recedes due to the high zonality and variability of reservoir parameters related mainly to the complex character of the depositional environments (Konior 1978). This is illustrated by the sharp lithological boundaries, the irregular pattern of reservoir zones and complicated porosity/permeability relationships (Tab. 3).

The Dogger aquifer includes mostly Bajocian (Kujavian) and Bathonian horizons, which form a joint hydraulic system sealed from the top by impermeable Callovian carbonates or Oxfordian marls (Jawor 1970; Jawor, Baran 2001; Dayczak-Calikowska, Kopik 1973; Dayczak-Calikowska, Moryc 1988). In the vicinity of Krakow, Myślenice, Bochnia, Brzesko, Kazimierza Wielka and Miechow, the Upper Callovian sandstones also belong to the Dogger aquifer. The bottom seal is provided chiefly by impermeable Triassic sediments or, in the areas of the Carpathian Foredeep and the Carpathians, also by Triassic and Paleozoic strata. The Oxfordian, Triassic and Paleozoic sediments may serve as a source of indirect recharge, particularly in dislocation zones and in the areas dominated by porous facies.

Geothermal waters can be categorised by the resources hosted in rocks of highly variable reservoir parameters, remaining under artesian or subartesian conditions and exhibiting low (in the Miechow Trough) to high (in the Brzesko area) TDS (Oszczypko, Tomasz 1978; Barbacki, Kazanowska 2001b).

The Middle Jurassic aquifer exhibits artesian conditions, whereas an unconfined groundwater table occurs presumably only in the outcrops zone west of Krakow. Reservoir pressures correspond roughly to hydrostatic values, but artesian flows are common (*e.g.*, the area between the Raclawice 2 and the Ostrów 1 wells, related to the thickness anomaly). Measured wellhead pressures vary from about 0.17 MPa in the Miechow Trough to about 1.1 MPa in the Tarnow vicinity (the Pawezów 3 well).

Artesian flows, however, are absent south of the margin of the Carpathian overthrust, where the groundwater table is stabilized at depths of 50–200 meters below the surface (Dobczyce-Raciborsko zone). The recharge zones for the Middle Jurassic aquifer (which create the artesian flow conditions) are sub-Quaternary and surface exposures located in the Silesian-Krakow Monocline and along the southwestern margins of the Holy Cross Mountains. Presumably, these outcrops do not play an important role in the recharge of the Middle Jurassic aquifer due to their insignificant area. Instead, an intensive, indirect recharge is possible along the numerous tectonic zones, the erosional-transgressive contacts with Triassic strata and by vertical percolation from the Upper Jurassic formations.

Water temperatures in the Dogger aquifer are clearly related to reservoir depths.

powierzchniowych, ze względu na niedużą powierzchnię, nie mają przypuszczalnie dużego udziału w procesie zasilania zbiornika; istnieje natomiast możliwość intensywnego zasilania pośredniego drogą kontaktów tektonicznych w strefach licznych dyslokacji, drogą kontaktów erozyjno-transgresyjnych z utworami triasu oraz drogą przeciekania pionowego z utworów jury górnej.

Temperatura wód zbiornika doggerskiego jest wyraźnie związana z głębokością występowania warstw wodonośnych.

**Tabela 3.** Wybrane parametry hydrogeotermalne zbiornika doggerskiego na obszarze niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpacciego (na podstawie danych PGNiG S.A., PIG)

Nr otworu według ryc. 4.1	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	Trzonów 2	1010–1015	35,5*	3,6**	19,0	4,8	–
2	Kobylniki 1	1342–1380	36	7,0	13,7	–	–
3	Skalbmierz 4	956–1035	32	20,0**	niska	15,5	661,0
4	Raławice 2	850–920	30	~10,0**	0,4	12,5	37,6
5	Ostrów 1	1491–1507	36	1,7**	40,0	13,3	905,1
6	Kazimierza Wlk. 1	1360–1394	36	–	–	13,0	131,0
7	Słomniki 4	457–520	23*	~20,0	~1,0	25,0	565,0
9	Pawężów 3	1950–1960	55*	10,0	solanka	–	51,0
11	Puszcza 14	758–820	26	13,0**	<1,0	–	–
13	Kryspinów 1	175–198	12	9,0**	<1,0	–	–
14	Niepołomice 11	868–885	36	>3,0**	<1,0	–	–
15	Rzezawa 1	1578–1593	47	1,5	solanka	–	–
16	Zabłocie 1	1278–1388	35	1,5	68,0	12,7	54,0
17	Brzeźnica 1	1780–1880	54	–	–	6,4	143,0
18	Jadowniki 5	2051–2116	62	0,3	solanka	6,2	–
19	Dobczyce 4	2050–2148	60	8,0	80,0	11,6	262,0
20	Dobczyce 8	2260–2392	65	1,2	78,0	6,3	4,0
21	Dobczyce 1	2075–2105	60	0,9	42,0	3,3	–
25	Raciborsko 3	1827–1868	53*	0,7	12,0	10,3	3,1

\* Temperatury zmierzone, pozostałe oszacowane.

\*\* Samowypływy wód.

**Table 3.** Selected hydrogeothermal parameters of the Dogger aquifer of the Miechow Trough and the Carpathian Foredeep (based on data obtained from the POGC and the PGI)

Well no. after Fig. 4.1	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	Trzonów 2	1,010–1,015	35,5*	3,6**	19.0	4.8	–
2	Kobylniki 1	1,342–1,380	36	7.0	13.7	–	–
3	Skalbmierz 4	956–1,035	35	20.0**	low	15.5	661.0
4	Raławice 2	850–920	30	~10.0**	0.4	12.5	37.6
5	Ostrów 1	1,491–1,507	36	1.7**	40.0	13.3	905.1
6	Kazimierza Wlk. 1	1,360–1,394	36	–	–	13.0	131.0
7	Słomniki 4	457–520	23*	~20.0	~1.0	25.0	565.0
9	Pawężów 3	1,950–1,960	55*	10.0	brine	–	51.0
11	Puszcza 14	758–820	36	13.0**	<1.0	–	–
13	Kryspinów 1	175–198	12	9.0**	<1.0	–	–
14	Niepołomice 11	868–885	36	>3.0**	<1.0	–	–
15	Rzezawa 1	1,578–1,593	47	1.5	brine	–	–
16	Zabłocie 1	1,278–1,388	35	1.5	68.0	12.7	54.0
17	Brzeźnica 1	1,780–1,880	54	–	–	6.4	143.0
18	Jadowniki 5	2,051–2,116	62	0.3	brine	6.2	–
19	Dobczyce 4	2,050–2,148	60	8.0	80.0	11.	262.0
20	Dobczyce 8	2,260–2,392	65	1.2	78.0	6.3	4.0
21	Dobczyce 1	2,075–2,105	60	0.9	42.0	3.3	–
25	Raciborsko 3	1,827–1,868	53*	0.7	12.0	10.3	3.1

\* Measured temperatures; numbers without asterisk are – estimated temperatures.

\*\* Artesian outflows.



## 5. ZBIORNIK JURY GÓRNEJ (MALMU) (ryc. 5.1–5.4, tab. 4)

Zbiornik górnourajski nie tworzy jednorodnego systemu wodonośnego. Nawet w blisko położonych strefach te same poziomy stratygraficzne raz stanowią warstwę wodonośną, a raz warstwę izolującą. Strefy zbiornikowe górnej jury wykazują bowiem silny związek ze strefami krasu, dolomityzacji i strefami spękań, których rozkład przestrzenny jest nieregularny i często przypadkowy (Kutek i in. 1984; Dąbrowska i in. 1973; Matyja i in. 1989). Prawidłowością są natomiast lepsze parametry zbiornikowe stropowej części zbiornika wykształcone w okresie przedmiocenijskich procesów wietrzenia. W strefach rozwiniętego krasu, dolomityzacji i spękań zbiorniki wód wykazują charakter masowy, a w pozostałych głównie warstwowy (Moryc 1970, 1976; Kotlicki 1971; Kruczek 1972; Oszczypko, Tomasz 1978; Konior 1978; Dudek 1980; Sokołowski 1985; Gliniak i in. 2001; Barbacki 1994).

Miąższość utworów górnej jury na analizowanym obszarze zmienia się od 0 do ponad 1000 m w rejonie Dąbrowy Tarnowskiej, głębokość stropu natomiast od około +400 m n.p.m. (lokalnie +500 m) na NW od Krakowa do około –2200 m n.p.m. na SE od Tarnowa (Jawor 1970; Morycowa, Moryc 1976).

Zbiornik górnourajski tworzą skrasowiałe, spękane lub zwietrzałe wapienie oksfordu i kimerydu, a w części wschodniej obszaru również dolomity (głównie oksfordzkie). Uszczelnienie dolne tworzą przede wszystkim margle keloweju, mułowce i ilowce batonu, margle oksfordu dolnego. Górne uszczelnienie zbiornika w strefie NW (niecka miechowska) stanowią głównie wapienie ilaste i margle stropowych serii kimerydu. W przypadku małej miąższości lub braku marglistych serii kimerydu zbiornik górnej jury, cenomanu i dolnej kredy stanowią wspólny system hydrauliczny (Jurkiewicz i in. 1972, 1973, 1974a, 1975, 1976, 1976a, 1976b, 1980, 1990, 1991a, 1991b, 1993, 1994, 1995, 1999). Łączność hydrauliczna zbiornika cenomańskiego i górnourajskiego występuje również na obszarze zapadliska przedkarpackiego i jest stwierdzona w strefach niektórych złóż węglowodorów (np. złożo Grobla – Pławowice).

Zasoby geotermalne tej części zbiornika górnourajskiego należy zaliczyć do zasobów o temperaturach od 20 do 60°C, które występują w warunkach artezyjskich i subartezyjskich, i o niskiej mineralizacji wód (szczególnie w północno-zachodniej części obszaru).

Rozkład parametrów zbiornikowych górnej jury jest zdecydowanie przypadkowy za wyjątkiem stropowej części zbiornika o miąższości nie przekraczającej 100 m o podwyższonej porowatości i przepuszczalności i tam, gdzie występują utwory silnie zwietrzałe oraz zdeintegrowane tektonicznie (m.in. strefa Grobla – Pławowice oraz Kazimierza Wielka – Tarnów).

Górnourajski zbiornik na tym obszarze charakteryzuje się warunkami naporowymi i jedynie w strefie wychodni na obszarze monokliny śląsko-krakowskiej występują wody o zwierciadle swobodnym. Strefa ta stanowi główny obszar zasilania zbiornika. Pośrednie zasilanie może również zachodzić poprzez kontakt hydrauliczny utworów górnej jury z wodonośnymi utworami cenomanu zalegającymi w stropie kompleksu i utworami doggeru w jego spągu.

## 5. THE UPPER JURASSIC AQUIFER (MALMIAN) (Fig. 5.1–5.4, Tab. 4)

The Upper Jurassic aquifer does not form a homogenic aquatic system. Even in the adjacent zones, the same stratigraphic units can be either reservoirs or seals. The Upper Jurassic reservoirs exhibit strong connections with karst features, dolomitization and fracture zones of irregular, commonly random spatial distribution (Kutek et al. 1984; Dabrowska et al. 1973; Matyja et al. 1989). As a rule, the upper parts of the aquifer exhibit more favourable reservoir parameters produced during the pre-Miocene weathering. In the zones of advanced karstification, dolomitization and fracturing, the reservoirs are of a massif type, whereas in the remaining zones layered reservoirs prevail (Moryc 1970, 1976; Kotlicki 1971; Kruczek 1972; Oszczypko, Tomasz 1978; Konior 1978; Dudek 1980; Sokolowski 1985; Barbacki 1994; Gliniak et al. 2001).

The thickness of the Upper Jurassic sediments in the study area ranges from 0 to over 1,000 meters (in Dabrowa Tarnowska area) and the elevations of the top surfaces vary from about 400 m above sea level (locally even up to 500 m) northwest of Krakow to about –2,200 m below sea level southeast of Tarnow (Jawor 1970; Morycowa, Moryc 1976).

The Upper Jurassic reservoir rocks are karstified, fractures or weathered Oxfordian and Kimmeridgian limestones and, in the eastern part, also dolomites (mainly Oxfordian). The seals are mainly Callovian marls, Bathonian mudstones and claystones and Lower Oxfordian marls. In the Miechow Trough, the caprocks are usually Upper Kimmeridgian clayey limestones and marls. If Kimmeridgian marls are thin or absent, the Upper Jurassic, Cenomanian and Lower Cretaceous aquifers form a joint hydraulic system (Jurkiewicz et al. 1972, 1973, 1974a, 1975, 1976, 1976a, 1976b, 1980, 1990, 1991a, 1991b, 1993, 1994, 1995, 1999). Hydraulic connections between Cenomanian and Upper Jurassic aquifers also occur in the Carpathian Foredeep and were observed in some hydrocarbon deposits (e.g., Grobla – Pławowice).

Geothermal resources in this part of the Upper Jurassic aquifer belong to a low-temperature (20–60°C) and low-TDS type (particularly northwestern portion of the study area) stored under artesian and subartesian flow conditions.

The distribution pattern of Upper Jurassic reservoir parameters is strongly random except for the top part of the reservoir where a zone about 100 meters thick exhibits higher porosity and permeability and where the reservoir rocks are intensively weathered and tectonically crushed (e.g., the Grobla – Pławowice and Kazimierza Wielka – Tarnow zones).

The Upper Jurassic aquifer exhibits confined conditions except for the outcrop zones where an unconfined groundwater table exists. While the outcrops zone is the main recharge area of the aquifer, indirect recharge may proceed through hydraulic contact with the overlying Cenomanian and underlying Dogger reservoirs.

W otworach notowano częste przypadki samowypływów wód, jednak za wyjątkiem strefy Słomnik oraz strefy Zielona – Łuczyce – Tropiszów samowypływy te były nieduże (tab. 4). Interesujące jest, że samowypływy obserwowano również w strefie przykarpackiej w rejonie Brzeska (Sufczyn, Jadowniki, Porąbka Uszewska). Ciśnienia złożowe w zbiorniku górnourajskim mieszczą się w interwale od około 4,0 MPa do około 26,0 MPa.

Na obszarze zapadliska przedkarpackiego regionalny trend temperaturowy związany jest głównie ze wzrostem głębokości zalegania kompleksu górnej jury w kierunku południowym. Główne strefy dodatnich anomalii temperaturowych związane są ze strefami złóż węglowodorów: Partynia – Podborze (38–40°C na głębokości ok. 800 m), Mędrzechów – Smęgorzów, Tarnów (60°C na głębokości ok. 1900 m), Grobla – Pławowice (36°C na głębokości ok. 800 m) (Plewa 1994; Barbacki 2002). Nadal zaznacza się dodatnia anomalia strefy Żółczy, gdzie utwory stropowe (kimeryd) wykazują temperatury 25°C na głębokości 390 m, a spągowe 56°C na głębokości 1300 m, przy gradiencie geotermicznym 3,3°C/100 m.

Artesian flows were often reported from the wells, but at low discharge rates excluding the Słomniki and Zielona – Łuczyce – Tropiszow zone where higher values were measured (Tab.4). It is interesting to note that artesian flows were also observed along the margins of the Carpathians, in the Brzesko area (Sufczyn, Jadowniki, Porabka Uszewska). Reservoir pressures in the Upper Jurassic aquifer vary from about 4.0 to about 26.0 MPa.

In the Carpathian Foredeep, the regional temperature pattern is related mostly to the southward-increasing depth of Upper Jurassic formation. The main zones of positive thermal anomalies are linked to hydrocarbon deposits: Partynia – Podborze (38–40°C at about 800 m depth), Medrzechow – Smegorzow and Tarnow (60°C at about 1,900 m depth), Grobla – Pławowice (36°C at about 800 m depth) (Plewa 1994; Barbacki 2002). A positive anomaly is still evident in the Zolcza zone where top (Kimmeridgian) rocks exhibit temperatures of 25°C at a depth of 390 m and the bottom rocks are at 56°C at a depth of 1,300 m, yielding a geothermal gradient of 3.3°C/100 m.

**Tabela 4.** Wybrane parametry hydrogeotermalne zbiornika górnej jury w strefach samowypływów na obszarze zapadliska przedkarpacciego i niecki miechowskiej (na podstawie danych PIG, PGNiG S.A., prac: Kruczek 1972, Oszczytko i Tomasz 1978)

Nr otworu według ryc. 5.1	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	Węgrzynów IG-1	oksford* (201–582)	20**	–	<1,0	szczelino-watość	–
2	Trzonów 2	oksford* (748–758)	31	0,24	53,024	~3,7	~90,0
3	Zborów 3	raurak (550–740)	30	0,36	67,0	6,0	–
4	Solec 3	kimeryd, raurak (310–681)	29	0,27	40,0	4,8	–
5	Ostrów 1	astart (722–740)	30	1,0	niska	4,1	–
6	Nadzów 1	raurak (550–585)	21	–	solanka	5,0	–
7	Słomniki 2	malm, dogger, karbon (366–800)	22**	120,0	<1,0	7,8	6,8
8	Mędrzechów 1	oksford* (420–840)	20–30	–	–	4,5	–
9	Zabrze 1	oksford grn. (705–1000)	30	–	–	3,5	–
10	Podlipie 1	kimeryd (652–783)	27	–	–	2,1	–
11	Kazimierza Wlk. 4	astart (792)	25	–	solanka	~6,0	–
12	Smęgorzów 3a	kimeryd, oksford dln. i śrd. (530–1275)	20–30	–	–	5,6	10,0
13	Podborze 10	oksford dln. (1639–1742)	60**	1,25	solanka	2,7	2,5
14	Podborze 30	astart (949–957)	40	–	–	7,4	111,0
15	Dąbrowa Tam. 7	kimeryd (748–759)	27	0,5	–	2,7	1,5
16	Gruszów 1	kimeryd, raurak (648–1195)	25–30	–	solanka	10,0	–
17	Zielona 1	raurak (380)	20	30,0	<1,0	4,7	nieprze-puszczalne
18	Grobla 8	raurak (781)	33–36**	7,0	15,0	5,5	–
19	Pawężów 1	astart (1305–1320)	37	–	solanka	6,0	–
20	Pawężów 5	oksford dln. i śrd. (1814–1834)	53	–	–	3,5	–
21	Wyciąże 6	raurak (850)	30	25,0	solanka	6,25	1,6
22	Żdźary 10	raurak (1875–1885)	60	–	–	3,1	1,9
23	Wola Rzędzińska 1	oksford dln. i śrd. (2150)	65	–	solanka	1,9	–
24	Puszcza 4	raurak (808–820)	34	0,25	–	4,5	–
25	Pogórska Wola 15	oksford dln. i śrd. (2437)	75	60,0	solanka	6,0	nieprze-puszczalne
26	Cikowice 1	raurak (1150–1185)	35	1,2	–	3,0	–
27	Rzezawa 1	oksford śrd. (1330–1350)	40	–	solanka	9,0	–
28	Sufczyn 1	oksford dln. i śrd. (1965–2071)	54**	9,0	solanka	2,5	–
29	Jadowniki 6	oksford dln. i śrd. (1690–1740)	50	1,0	solanka	2,0	–
30	Porąbka Uszewska 5	raurak, oksford dln. i śrd. (1851–2058)	70	0,15	120,0	1,7	–

\* Nerozdzielony oksford dolny, środkowy i górny.

\*\* Temperatury zmierzone.

**Table 4.** Selected hydrogeothermal parameters of the Upper Jurassic aquifer in the artesian outflow zones of the Carpathian Foredeep and the Miechow Trough (based on data obtained from the PGI and the POGC, after Kruczek 1972, Oszczytko and Tomasz 1978)

Well no. after Fig. 5.1	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	Węgrzynów IG-1	Oxfordian* (201–582)	20**	–	<1.0	fractured aquifer	–
2	Trzonów 2	Oxfordian* (748–758)	31	0.24	53.024	~3.7	~90.0
3	Zborów 3	Rauracian (550–740)	30	0.36	67.0	6.0	–
4	Solec 3	Kimmeridgian, „Rauracian” (310–681)	29	0.27	40.0	4.8	–
5	Ostrów 1	„Astartian” (722–740)	30	1.0	low	4.1	–
6	Nadzów 1	„Rauracian” (550–585)	21	–	brine	5.0	–
7	Słomniki 2	Malm, Dogger, Carboniferous (366–800)	22**	120.0	<1.0	7.8	6.8
8	Mędrzechów 1	Oxfordian* (420–840)	20–30	–	–	4.5	–
9	Zabrze 1	Upper Oxfordian (705–1,000)	30	–	–	3.5	–
10	Podlipie 1	Kimmeridgian (652–783)	27	–	–	2.1	–
11	Kazimierza Wlk. 4	„Astartian” (792)	25	–	brine	~6.0	–
12	Smęgorzów 3a	Kimmeridgian, Lower and Middle Oxfordian (530–1,275)	20–30	–	–	5.6	10.0
13	Podborze 10	Lower Oxfordian (1,639–1,742)	60**	1.25	brine	2.7	2.5
14	Podborze 30	„Astartian” (949–957)	40	–	–	7.4	111.0
15	Dąbrowa Tam. 7	Kimmeridgian (748–759)	27	0.5	–	2.7	1.5
16	Gruszów 1	Kimmeridgian, „Rauracian” (648–1,195)	25–30	–	brine	10.0	–
17	Zielona 1	„Rauracian” (380)	20	30.0	<1.0	4.7	impermeable
18	Grobla 8	„Rauracian” (781)	33–36**	7.0	15.0	5.5	–
19	Pawężów 1	„Astartian” (1,305–1,320)	57	–	brine	6.0	–
20	Pawężów 5	Lower and Middle Oxfordian (1,814–1,834)	53	–	–	3.5	–
21	Wyciąże 6	„Rauracian” (850)	30	25.0	brine	6.25	1.6
22	Żdźary 10	„Rauracian” (1,875–1,885)	60	–	–	3.1	1.9
23	Wola Rzędzińska 1	Lower and Middle Oxfordian (2,150)	65	–	brine	1.9	–
24	Puszcza 4	„Rauracian” (808–820)	34	0.25	–	4.5	–
25	Pogórska Wola 15	Lower and Middle Oxfordian (2,437)	75	60.0	brine	6.0	impermeable
26	Cikowice 1	„Rauracian” (1,150–1,185)	35	1.2	–	3.0	–
27	Rzezawa 1	Middle Oxfordian (1,330–1,350)	40	–	brine	9.0	–
28	Sufczyn 1	Lower and Middle Oxfordian (1,965–1,740)	54**	9.0	brine	2.5	–
29	Jadowniki 6	Lower and Middle Oxfordian (1,690–1,740)	50	1.0	brine	2.0	–
30	Porąbka Uszewska 5	„Rauracian”, Lower and Middle Oxfordian (1,851–2,058)	70	0.15	120.0	1.7	–

\* Lower, Middle and Upper Oxfordian undivided.

\*\* Measured temperatures.