

Zbiorniki paleozoiczne obszaru krakowsko-kieleckiego — możliwości wykorzystania energii geotermalnej

Antoni P. Barbacki*

Paleozoic reservoirs at the basement of the Cracow–Kielce region (southern Poland): possibilities of utilising geothermal energy. *Prz. Geol.*, 52: 243–252.

S u m m a r y. The paper presents results of analyses of the Paleozoic reservoirs of geothermal waters in the Cracow-Kielce region. Analyses included to depth estimation of aquifers, temperature of accumulated waters, flow conditions, mineralization and identification zones for utilization of geothermal energy. It is concluded proved that Paleozoic waters could be used for heating both directly and by heat pump systems. Proper conditions for these purposes occur in the areas of regional dislocations, i.e. in the eastern Cracow Zone and near Bochnia and Raclawice.

Key words: Paleozoic reservoirs, Paleozoic, hydrogeothermy, Cracow-Kielce region

Zbiorniki paleozoiczne na analizowanym obszarze są związane z wodonośnymi utworami paleozoicznego podłoża niecki miechowskiej środkowej części zapadliska przedkarpackiego oraz z epikontynentalnymi utworami permu.

Charakterystyczną cechą budowy geologicznej paleozoiku na tym obszarze jest występowanie utworów poszczególnych okresów geologicznych w zredukowanej postaci, oraz hydrauliczna łączność poziomów wodonośnych różnych pięter. Stwarza to trudność w ocenie warunków hydrogeologicznych w obrębie poszczególnych pięter, szczególnie w aspekcie rozpoznania stref ich zasilania, hydrodynamiki wód oraz identyfikacji utworów uszczelniających.

Serie skalne starszego paleozoiku i prekambru są najczęściej nieprzepuszczalne. Korzystnie pod względem wodonośności prezentują się utwory piętra dewońskiego i lokalnie cechsztyńskiego oraz karbońskiego. Wykazują one jednak z reguły niskie parametry zbiornikowe ponieważ porowatość ich wynosi kilka procent a przepuszczalność kilkanaście mD. Stąd rejonu znacniejszych przyływów wód do otworów związane są zwykle ze szczelinowatością towarzyszącą głównie strefom dyslokacji tektonicznych.

Na obszarze niecki miechowskiej w wodonośnych utworach permu i paleozoicznego podłoża występują warunki subartezyjskie, a zwierciadło swobodne wód w otworach stabilizuje się na głębokości poniżej 100 m p.p.t. W części południowej, na obszarze zapadliska przedkarpackiego pojawiają się już liczne przypadki samowypływów wód z otworów, szczególnie z poziomów dewońskich, przy czym ich wartości nie przekraczają 20 m³/h.

Duże zróżnicowanie głębokości występowania wodonośnych poziomów paleozoicznych obszaru (od ok. 300 do ok. 3000 m p.p.t.) implikuje zakres mineralizacji wód począwszy od wód słodkich do solanek o mineralizacji dochodzącej do 230 g/l, jak również rozpiętość temperatury wód od ok. 17°C do 102°C.

Zasoby energii geotermalnej paleozoiku na analizowanym obszarze, zawarte są głównie w wodach występujących w zbiorniku dewońskim podłoża zapadliska

przedkarpackiego. Znaczenie wód w pozostałych zbiornikach paleozoiku oraz w podłożu niecki miechowskiej jest raczej marginalne, głównie ze względu na lokalne rozprzestrzenienie stref o korzystnych parametrach zbiornikowych.

Budowa geologiczna

Powierzchnia stropu utworów paleozoiczno-prekambrskich na analizowanym obszarze wykazuje budowę bardzo zróżnicowaną (ryc.1), złożoną z utworów paleozoicznych i prekambru (Jawor, 1970; Żakowa i in., 1972; Jurkiewicz, 1975; Moryc, 1971). W podziale regionalnym struktur paleozoicznych obszar ten należy do masywu małopolskiego, a jego SW część do fałdowej strefy krakowsko-lublinieckiej (Bukowy, 1984; Żaba, 1999).

Utwory permu na większości analizowanego obszaru występują w formie odosobnionych płatów a od równoleżnika Jędrzejowa na N tworzą bardziej zwartą i ciągłą pokrywę. Reprezentowane są one głównie przez utwory cechsztyńskie i jedynie w rejonach Mielca i Koniecpola pojawiają się osady czerwonego spagowca (Moryca, 1971; Jurkiewicz, 1991a).

W paleozoicznym podłożu zapadliska przedkarpackiego utwory cechsztyńskie są rozwinięte w facji węglanowej i klastycznej. Facja węglanowa znana jest w okolicy Mielca i N części „zatoki gdowskiej” na S od Niepołomic (ryc. 1), natomiast na pozostałym obszarze utwory te wykształcone są w facji klastycznej. Cechsztyń facji węglanowej jest reprezentowany przez zlepieńce wapienne, margle i zapiaszczone wapienie, a facji klastycznej głównie przez iłowce oraz iłolupki z wkładkami piaskowców i zlepieńców z gipsami i anhydrytami w rejonie Gdowa (Moryc, 1971; Jawor, 1970).

Największe miąższości permu stwierdzono w rejonie Gdowa, gdzie w otworze Liplas 2 (ryc. 3) przewiercono 1370 m pstrych utworów ilasto-piaszczystych, zaliczanych do cechsztynu. W SE części niecki miechowskiej i w NE części analizowanego obszaru wykształcenie osadów cechsztynu jest podobne do wykształcenia występujących w paleozoicznym podłożu zapadliska przedkarpackiego osadów facji węglanowej i klastycznej. Są to osady mułowcowo-ilaste, zlepieńce wapienne, margle, piaskowce, osady siarczanowe, dolomity (otwory Brzegi IG1, Radwanów IG1, ryc. 1). Litologia ta świadczy o lokalnych i krótkotrwałych transgresjach morza cechsztyńskiego na obszar niecki miechowskiej (Jurkiewicz, 1999). Istotną

*Zakład Energii Odnawialnej, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, 30-950 Kraków 65, skr. poczt. 49, ul. Wybickiego 7; barbacki@min-pan.krakow.pl

zmianę w budowie utworów cechsztynu obserwuje się w NW części obszaru, gdzie typ osadów wskazuje na lagunowy charakter sedimentacji (osady ilasto-węglanowe i siarczano-solne) rozpoznanych np. w otworze Pagów IG 1; ryc. 1). Rejon ten wykazywał już bezpośrednie połączenia z otwartymi strefami epikontynentalnego basenu cechsztynskiego, a w profilu osadów możliwa jest identyfikacja wszystkich 4 cyklotemów cechsztynu (Jurkiewicz, 1976b).

Miąższość utworów permu w otworach z obszaru niecki miechowskiej wynosi średnio ok. 100 m, przy czym na NW od strefy otworu Pagów IG1 przekracza 200 m, a maksymalną miąższość utworów cechsztynu 300 m stwierdzono w otworze Radwanów IG1.

Perm leży niezgodnie na zróżnicowanej powierzchni erozyjnej reprezentowanej przez osady karbonu dolnego, dewonu i starszego paleozoiku (ryc. 1).

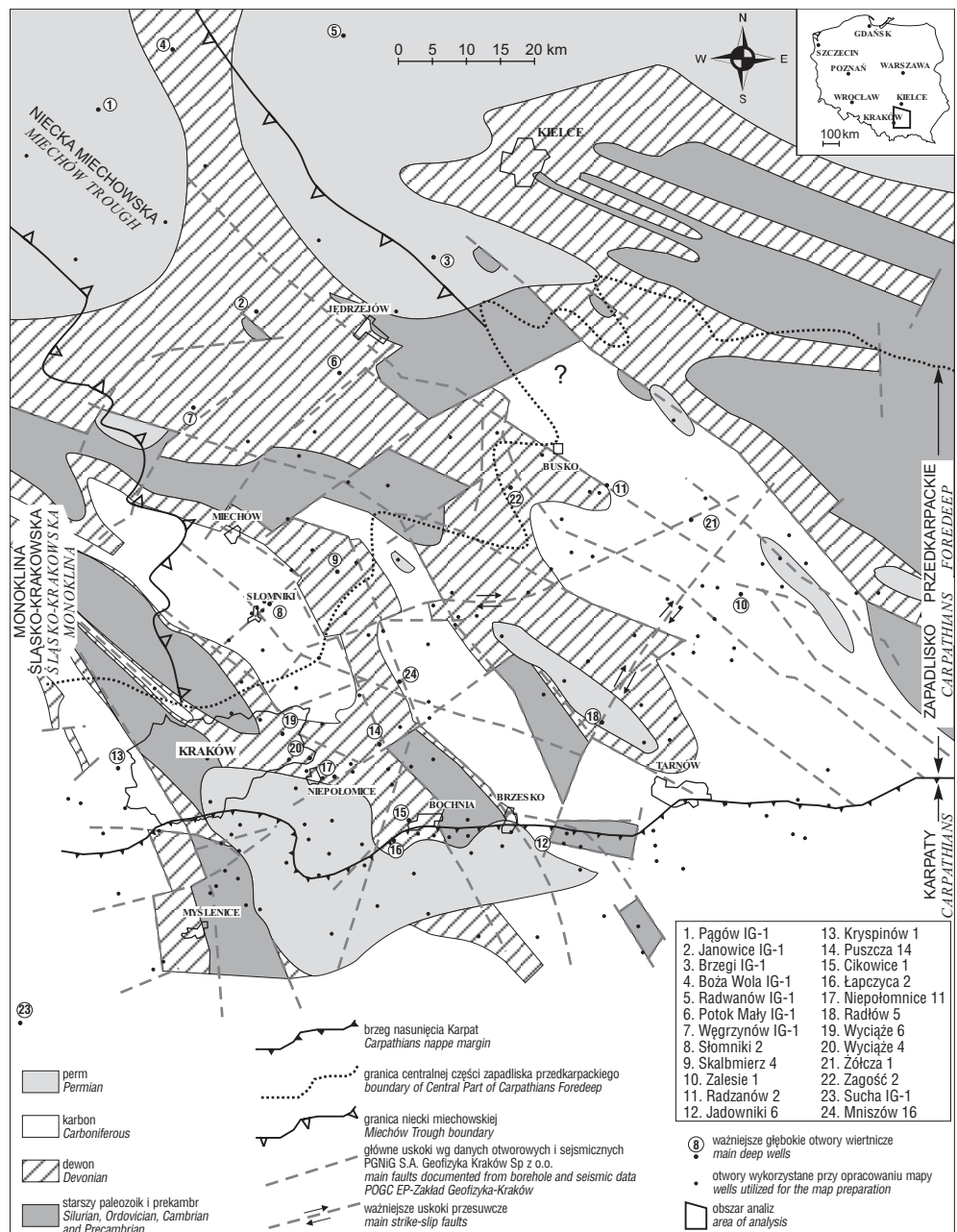
Utwory karbonu dolnego

w podłożu zapadliska przedkarpackiego rozwinięte są w facji wapienia węglowego i jedynie w rejonie Dębicy, w SE części obszaru, w facji kulmu (Moryc, 1971). Strefa Wyciąże-Słomniki i rejon Gdowa charakteryzują się natomiast występowaniem osadów karbońskich w facji pośredniej między wapieniem węglowym a kulmem (Jawor, 1970). Osady karbonu leżą na osadach dewonu i zachowały się głównie w jądrach synklin (ryc. 1). W osiowych strefach synklijalnych osiągają one maksymalne miąższości, przekraczające niekiedy 1000 m (np. rejon Słomnik, ryc. 1). W podłożu niecki miechowskiej, osady dolnego karbonu mają litologię zbliżoną do facji kulmu (piaskowce, łupki, mułowce) i miąższości od 300 m (Pagów IG 1) do 1300 m (Milianów IG1, ryc. 3). W rejonie Słomnik stwierdzono ponadto ok. 150-metrowy kompleks piaszczysto-mułowcowy zaliczony do karbonu górnego — namur (Jawor, 1970), a w otworze Milianów IG 1 analogiczny kompleks o miąższości 330 m.

Utwory dewonu tworzą ciągłe, za wyjątkiem stref wyniesień starszego paleozoiku, podłoże utworów karbońskich i są zbudowane z węglanowych

osadów dewonu górnego i środkowego oraz ilasto-piaskowcowej serii dewonu dolnego (*old red*). Na powierzchni paleozoiku (ryc. 1) osady dewonu występują na zewnątrz synklijalnych stref karbonu dolnego, często okalając utwory staropaleozoiczne i prekambryjskie (Moryc, 1971; Jurkiewicz i in., 1972). Największą miąższość utworów dewonu stwierdzono w otworze Węgrzynów IG 1 i Mniszów 16, gdzie wynosi ona w obu otworach ok. 1600 m (ryc. 1; Jawor, 1970, Jurkiewicz, 1972, 1973).

Utwory dewonu dolnego są wykształcone w postaci serii piaskowcowo-mułowcowo-łupkowej, a ich średnia miąższość na analizowanym obszarze wynosi ok. kilkadziesiąt metrów. Maksymalną miąższość ponad 300 m tych utworów w podłożu zapadliska przedkarpackiego stwierdzono w profilu otworu Mniszów 16 (Moryc, 1976) a w podłożu niecki miechowskiej (ryc. 1), w otworze Potok Mały IG 1 — 135 m (Żakowa i in., 1972). Nad-



Ryc. 1. Szkic geologiczny powierzchni utworów paleozoiku i lokalnie prekambru (na podstawie prac: Jawora, 1970; Moryca, 1971; Jurkiewicza, 1975 i danych PGNiG S.A.)

Fig. 1. Sketch map of the Paleozoic surface and locally Precambrian surface (after: Jawor, 1970; Moryc, 1971; Jurkiewicz, 1975 and POGC EP data)

legły kompleks skał węglanowych należących do dewonu środkowego i górnego zbudowany jest z wapieni, dolomitów i margli, o miąższości przekraczającej niekiedy 1000 m. W podłożu niecki miechowskiej miąższość tego kompleksu jest zmienna, na ogół do 300 m, za wyjątkiem strefy Węgrzynowa, gdzie osiąga ok. 1600 m i Brzegów, pozbawionej tych osadów (ryc. 1). W podłożu zapadliska przedkarpackiego, m.in. w rejonach Mniszowa, Wyciąża i Niepołomic (ryc. 1) miąższość kompleksu węglanowego często przekracza 1000 m.

Utwory starszego paleozoiku i prekambru ukazują się na powierzchni podmezozoicznej w formie wypiętrzonych elementów o charakterze antyklinalnym (Jawor, 1970; Trzpięczyński, 1987).

Utwory syluru rozpoznano w rejonie Książa Wielkiego, Włoszczowej i Jaronowic (ryc. 1); są to łupki ilasto-mułowcowe o miąższości do 100 m (Jurkiewicz, 1991b, 1990, 1976a). W podłożu zapadliska przedkarpackiego znane są nieliczne wystąpienia utworów syluru w rejonie antyklinalnych, staropaleozoicznych struktur rejonu Krakowa rozpoznane wiertniami Wyciąże 4, 6, Dąbie 1, Batowice 1 i z okolic Bochni (wiercenie Łapczyca 1). Reprezentowane są one głównie przez zlepieńce, szarogłazy i sfyllityzowane łupki o miąższości nie przekraczającej 100 m (Jawor, 1970).

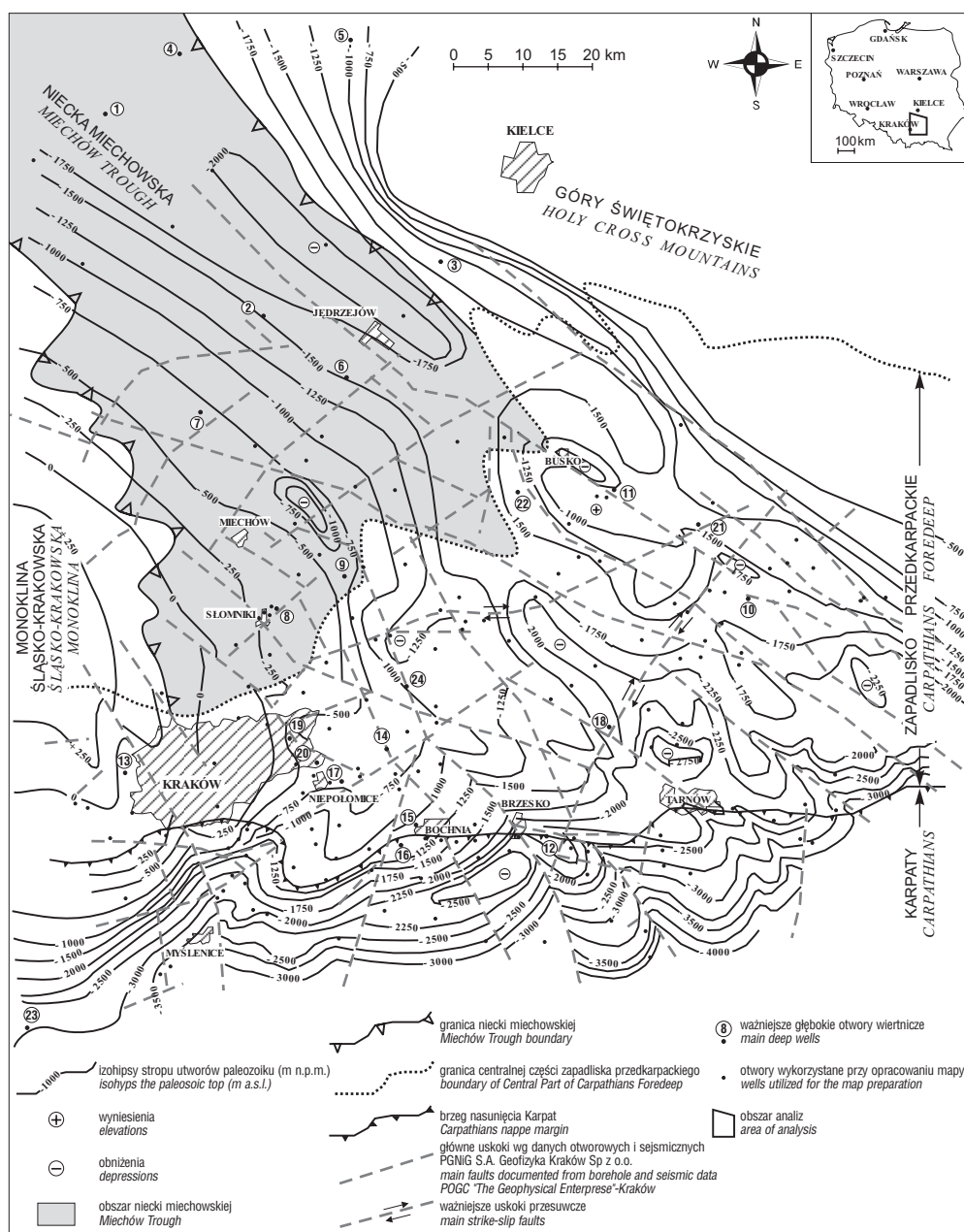
Utwory ordowiku znane są w dwóch facjach: węglanowej jako wapień, dolomity, piaskowce w rejonie Książa Wielkiego i klastycznej — piaskowcowej w okolicy Jaronowic (Jurkiewicz 1976, ryc. 1) o miąższości do 30 m. W podłożu zapadliska przedkarpackiego ordowik udokumentowano jedynie w otworze Mędrzechów 1 (ok. 10 km na W od otworu Zalesie 1, ryc. 1; Moryc, 1970).

Utwory kambru wykształcone jako łupki, piaskowce i zlepieńce (Jurkiewicz, 1974, 1999) stwierdzono m.in. w otworach Potok Mały IG 1, Jędrzejów IG 1, Węgleszyn IG 1, Brzegi IG 1 (ryc. 1, 3). W podłożu zapadliska przedkarpackiego piaskowcowo-mułowcowe utwory kambru pochodzenia morskiego nawiercono w otworach Głogoczów IG 1 i Mogi-

lany 1 ok. 10 km na S od Krakowa (Kowalczewski, 1990; Buła i in., 1996). W rejonie Myślenic ich miąższość przekracza przypuszczalnie nawet 2000 m (Buła, 1999; Jawor, 1997).

Utwory prekambru to osady piaskowcowo-mułowcowo-lupkowo-zlepieńcowe o miąższości przekraczającej lokalnie 800 m (Potok Mały IG1, Jurkiewicz i in., 1980). W podłożu zapadliska przedkarpackiego reprezentowane są one przez sfyllityzowane ilowce i piaskowce (Moryc, 1970, 1976) znane z rejonu Bochni, Brzeska, Niepołomic, Dobczyc, Radłowa i Wyciąża (ryc. 1). Prekambur w rejonie Wyciąża (wschodnia część Krakowa) nawiercony na odcinku ok. 400 m wykształcony jest w postaci łupków ilastych i fylitów.

Styl budowy geologicznej paleozoiku podłoża niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpackiego jest zdominowany przez dość regularny system antyklin z utworami prekambru i starszego paleozoiku w jądrach i synklin



Ryc. 2. Szkic strukturalny powierzchni stropu paleozoiku i prekambru — wg danych otworowych PGNiG S.A. i PIG

Fig. 2. Sketch map of the Paleozoic and Precambrian top — from POGC EP and PGI borehole data

Tab. 1. Wybrane parametry hydrogeotermalne wód i utworów paleozoiku na obszarze niecki miechowskiej i na obszarach przyległych (na podstawie danych PIG, PGNiG SA i analiz własnych)

Table 1. Selected hydrothermal parameters of Paleozoic deposits and waters of The Miechów Trough and neighboring areas (based on data obtained from Polish Geological Institute, POGC and own analyses)

Nrotworu wg Ryc. 1 No of well after Fig. 1	Nazwa otworu Name of well	Poziom stratygraficzny i opróbowany interwał (m p.p.t.) Stratigraphy and tested interval (m b.s.)	Temperatury wód Water temperature (°C)	Wielkość przyływu Capacity (m ³ /h)	Mineralizacja Mineralization (g/l)	Parametry zbiornikowe Reservoir parameters		Moc*** termiczna otworu Thermic power of well*** (MW)
						porowatość average porosity(%)	przepuszczalność średnia average permeability (mD)	
1.	Pagów IG-1	cechsztyń (2614-2626)	87	4,5	solanka	-	-	0,40
		dewon (3018-3200)	102	1,3	229	-	-	0,15
2.	Jaronowice IG-1	dewon dolny (2024-2030)	56	2,0	167	2,5	12,0	0,12
3.	Brzegi IG-1	cechsztyń (1575-1585)	44	3,0	115	1,7	102	0,14
4.	Boża Wola IG-1	dewon środkowy (2308-2413)	53	3,2	238	7,0	6,5	0,18
5.	Radwanów IG-1	cechsztyń (1559-1569)	52	1,0	84	2,0	1,0	0,05
6.	Potok Mały IG-1	dewon środkowy (1805-1830)	52*	1,2	117	-	-	0,07
		dewon dolny (1862-1875)	54*	1,0	67	3,0	8,0	0,06
7.	Węgrzynów IG-1	dewon środkowy (2604-3051)	75	3,0	210	-	-	0,24
8.	Słomniki 2	karbon (800)	26	100(?)	słodka	1,0	0,1	2,40
9.	Skalbmierz 4	dewon (1083-1130)	30*	samowypływ	solanka	ok.	-	-
10.	Zalesie 1	karbon dolny (1567)	45	samowypływ	solanka	-	-	-
11.	Radzanów 2	dewon (2430)	80*	samowypływ	169	-	-	-
12.	Jadowniki 6	karbon dolny (2031-2066)	70*	7,65	solanka	-	-	0,57
13.	Kryspinów 1	karbon dolny (340)	17*	9,0**	słodka	-	-	0,13
14.	Puszcza 14	dewon górny (1292)	40*	samowypływ	słodka	-	-	-
		dewon środkowy (1472)	44*	3,0**	solanka	-	-	0,14
15.	Cikowice 1	dewon środkowy (1417)	44*	15,0**	solanka	-	-	0,68
16.	Łączycza 2	dewon środkowy (1614)	48*	samowypływ	solanka	-	-	1,50
17.	Niepołomice 11	dewon górny i środkowy (897-922)	28*	samowypływ	solanka	~1,0	0,0	-
		dewon środkowy (1070-1125)	32*	samowypływ	solanka	-	-	-
18.	Radłów 5	dewon górny i środkowy (2211-2290)	60*	>>1,0	solanka	-	-	"0,07
19.	Wyciąże 6	dewon górny i środkowy (1450-1800)	40-48*	samowypływ	solanka	~0,6	0,0	-
20.	Wyciąże 4	dewon górny i środkowy (1000-1700)	30-45*	>>1,0	solanka	~1,0	0,0	"0,04
21.	Żółcza 1	dewon górny (2265)	90	>>1,0	solanka	-	-	"0,10
22.	Zagość 2	karbon dolny (1501-1590)	50*	3,8	solanka	-	-	0,20
23.	Sucha IG-1	karbon (2267-3190)	74	1,1	solanka	-	-	0,09
24.	Mniszów 16	dewon górny i środkowy (1157-1410)	40	2,0	solanka	-	-	0,08

*temperatury oszacowane (estimated temperatures); **samowypływ (free-outflow); ***założone schłodzenie do +5°C (assumed cooling to +5°C)

wypełnionych utworami karbonu o przebiegu NW–SE (ryc.1, 2). W przeciwieństwie do strefy krakowsko-lublinieckiej (SW część obszaru) utwory dewonu i karbonu masywu małopolskiego nie uległy sfałdowaniu podczas orogenezy waryscyjskiej (Bukowy, 1997). Masyw ten w paleozoiku i okresach późniejszych wielokrotnie się jednak wypiętrzał, stąd występujące tu formy antyklinalne (ryc. 1) są związane głównie z tektoniką uskokową. Uskoki o kierunkach NW–SE mają regionalny zasięg i obcinają NE i SW skrzydła wypiętrzeń utworów prekambryjskich o amplitudach zrzutu przekraczających niekiedy 1000 m, natomiast dyslokacje poprzeczne są młode (Jawor, 1999). Przedstawiony na rycinach system dyslokacji w wielu miejscach z powodu braku danych ma jednak przebieg hipotetyczny. Struktury paleozoiczne pogrążają się ku południowi, gdzie wyraziście zaznacza się już ich blokowa budowa, izohipsy zmieniają orientację i regularność, a deniwelacje stropowej powierzchni paleozoiku są znaczne (np. wzdłuż równoleżnika Myślenic od ok. — 2250 m do ok. — 4000 m n.p.m.). Przedstawiony strukturalny szkic powierzchni utworów paleozoiku (ryc. 2) pokazuje, że maksymalna deniwelacja stropu tych utworów na analizowanym obszarze wynosi ok. 4000 m (rejon Dębника, 15 km na NW od Krakowa: + 400 m n.p.m. i rejon Brzozowej, 20 km na S od Tarnowa: –3370 m n.p.m.). Taki przedział głębokościowy sugeruje, że wartości temperatur wód w stropowych utworach paleozoiku mogą zmieniać się również w zakresie: od ok. 10 do 110°C.

Parametry hydrogeologiczne zbiorników paleozoicznych

Biorąc pod uwagę generalnie niekorzystne parametry zbiornikowe utworów paleozoicznych, głównym miernikiem prowadzącym do powstania stref o lepszych parametrach była aktywność regionalnych dyslokacji, szczególnie o kierunkach NW–SE, w rejonach wypiętrzeń o prekambryjskich jądrach 1000 m (Jawor, 1999).

Zbiornik permski. Pomimo stosunkowo korzystnych parametrów zbiornikowych na obszarze niecki miechowskiej, zbiornik cechsztyński nie posiada większego znaczenia, głównie ze względu na jego lokalne występowanie i/lub ograniczoną miąższość. Przy pływy wód z utworów cechsztyńskich notowano w otworach Pagów IG 1, Brzegi IG 1 oraz Radwanów IG1 (tab.1), zarówno z utworów klastycznych jak i węglanowych.

Parametry zbiornikowe tych utworów polepszają się w kierunku NW, gdzie obserwuje się wzrost ich miąższości, większą ciągłość występowania oraz rozwój utworów lagunowych, dolomityczno-wapiennych. Średnie porowatości efektywne dolomitów cechsztyńskich w tej strefie wynoszą ok. 4,5%, a średnie przepuszczalności ok. 40 mD (Jurkiewicz, 1974). Zwierciadło swobodne w otworach Milianów IG1 i Pagów IG1 stabilizowało się odpowiednio na głębokościach 132 m i 258 m p.p.t.

Na pozostałym obszarze niecki miechowskiej, dominują klastyczne utwory cechsztyńskie, a parametry zbiornikowe osiągają większe wartości jedynie w krót-

kich interwałach głębokościowych, głównie tam, gdzie występują skały węglanowe, jak np. w otworze Radwanów IG1 (tab. 1), gdzie maksymalna porowatość efektywna wapieni wynosi 14%, przepuszczalność 43 mD, przy wartościach średnich odpowiednio 2% i 1 mD (Jurkiewicz, 1980). Dość znaczne przy pływy wód z utworów klastycznych obserwowane w otworze Brzegi IG1 (tab. 1), wynikają przypuszczalnie stąd, że opróbowano łącznie utwory niższego pstrego piaskowca i cechsztynu przy przepuszczalności strefy kontaktu 102 mD i średniej dla utworów cechsztynu 15 mD (Jurkiewicz, 1995). Zwierciadło swobodne tych wód stabilizowało się na głębokości ok. 140 m p.p.t. (ciśnienie złożowe ok. 16 MPa).

W podłożu zapadliska przedkarpackiego i Karpat utwory permu nie mają większego znaczenia jako zbiorniki wód podziemnych zarówno ze względu na ograniczone występowanie, jak i niekorzystne parametry zbiornikowe. Jedynie w rejonie Gdowa w niektórych otworach (Konior, 1978) stwierdzono korzystne parametry zbiornikowe tych utworów wyrażone przepuszczalnością powyżej 100 mD i porowatością całkowitą ponad 15%, lecz bez badania przy pływy.

W okolicach Zalas koło Krakowa są eksploatowane studnie ujmujące wody z porfirów czerwonego spągowca o współczynniku filtracji ok. $0,4 \cdot 10^{-5}$ m/s z głębokości ok. 100 m, z wydajnością ok. 1,3 m³/h.

Zbiornik karboński. W podłożu niecki miechowskiej utwory karbońskie są nieprzepuszczalne i stanowią ekran hydrauliczny pomiędzy piętrami wyżej- i niżejleżącymi. Korzystne właściwości zbiornikowe w skałach karbońskich pojawiają się tylko lokalnie (tab.1). Ewentualnie stanowi rejon Słomnik, gdzie w jednym z otworów uzyskano samowypływ słodkiej wody przekraczający 100 m³/h. Dane z wierceń wskazują jednak, że nie można wykluczyć, iż jest to woda dopływająca z poziomów płytszych (jura środkowa?), tym bardziej, że parametry zbiornikowe utworów karbonu w tej strefie są zdecydowanie niekorzystne: średnia porowatość efektywna ok. 2%, a przepuszczalność efektywna 0,1 mD.

Również w podłożu zapadliska przedkarpackiego utwory te nie przedstawiają większego znaczenia jako zbiorniki wód podziemnych. Samowypływy obserwowano co prawda w otworach Zalesie 1 i Kryspinów 1, a przy pływy solanek w otworach Mniszów 16 i Zagość 2 (ryc.1; tab.1), lecz strefy te należy uznać za wyjątkowe.

W podłożu Karpat utwory karbonu mają również niekorzystne parametry zbiornikowe, ale i tu występują strefy

Tab. 2. Maksymalna mineralizacja wód w paleozoicznych zbiornikach podłoża niecki miechowskiej

Table 2. Maximum mineralization the waters of Paleozoic aquifers at the basement of the Miechów Trough

Zbiornik <i>Aquifer</i>	Nazwa otworu <i>Name of well</i>	Mineralizacja <i>Mineralization (g/l)</i>	Głębokość <i>Depth (m)</i>
Prekambr + kambr	Książ Wielki IG1	88,0	1450
Ordowik + sylur	Książ Wielki IG1	40,0	1280
Dewon dolny	Boża Wola IG1	238,0	2350
Dewon środkowy	Jaronowice IG1	167,0	2025
Dewon górny	Pagów IG1	229,0	3100
Karbon dolny	Węgrzynów IG1	3,1	1350
Cechsztyń	Milianów IG1	170,0	1910

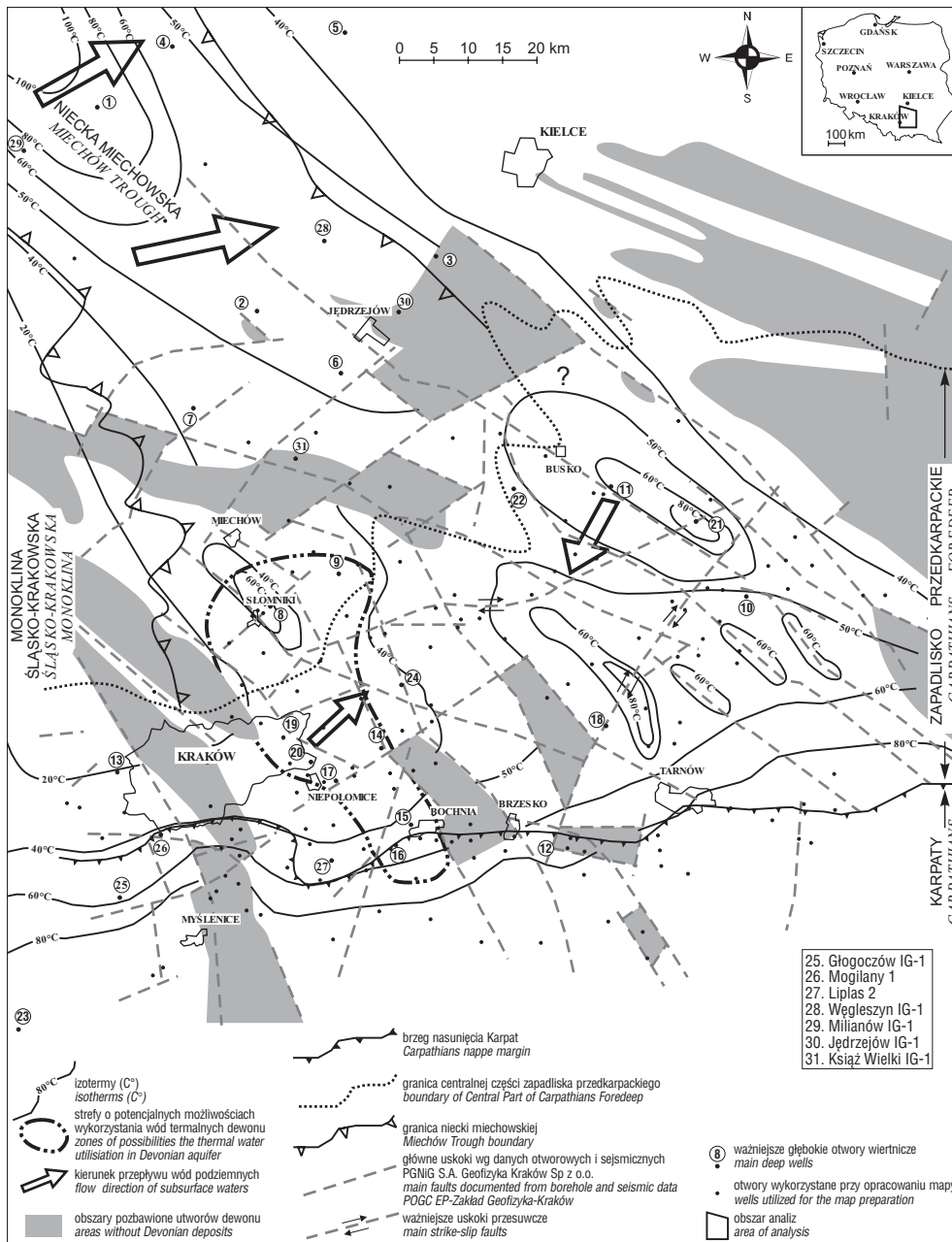
anomalne, jak w rejonie otworu Jadowniki 6, gdzie na głębokości ponad 2000 m stwierdzono przyływ solanki z wapieni dolnego karbonu o wartości ok. 7,65 m³/h. Przepływy do otworów obserwowano też w otworach Sucha IG1 i Głogoczów IG1. W otworze Głogoczów IG 1 stwierdzono maksymalną porowatość efektywną utworów karbonu dolnego wynoszącą 20,36% przy przepuszczalności od 0 do 88 mD i zwierciadło swobodnym stabilizującym się na głębokości 14 m p.p.t. (296 m n.p.m.; Oszczytko, 1981). Generalnie jednak, porowatości całkowite karbonu dolnego w podłożu Karpat nie przekraczają maksymalnie 8%, a przepuszczalność 8 mD (Konior, 1970).

Znacznie lepsze parametry zbiornikowe wykazują otwory karbonu górnego wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w obrębie krakowskiej serii piaszkowcowej. Wody złożowe występują tu na głębokościach 700–1400 m, a wydajności wód mieszczą się w zakresie 2–25 m³/h. Współczynniki filtracji skał zbiornikowych są

w przedziale od 2,5·10⁻⁶ do 0,5·10⁻⁵ m/s (rejon Oświęcimia, Rózkowski 1996). Płytkie otwory hydrogeologiczne wykonane w zwierzających i spękanych utworach karbonu strefy przypowierzchniowej w rejonie Krzeszowic (ok. 15 km na W od Krakowa) umożliwiały uzyskiwanie wydajności wód nawet do 200 m³/h, a wyznaczone współczynniki filtracji osiągały wartość 1,3·10⁻⁵ m/s (dane bank „HYDRO”, PIG).

Zbiornik dewoński. Zbiornik dewoński wykazuje nie tylko największe rozprzestrzenienie na analizowanym obszarze ale również najbardziej korzystne parametry zbiornikowe (tab.1). Stwierdzone poziomy wodonośne w podłożu niecki miechowskiej występują na głębokości od 1083 m (Skalbmierz 4) do 3200 m (Pagów IG1).

Najgłębiej usytuowany poziom wodonośny związany jest z terygenicznymi osadami dewonu dolnego wykazującymi znaczną zmienność parametrów zbiornikowych. W otworach Jaronowice IG1 i Potok Mały IG1 notowano



Ryc. 3. Rozkład temperatur w stopie utworów dewonu
Fig. 3. Temperature distribution at the Devonian top

przyływy wód z tych utworów wynoszące od ok. 1,0 do 2,0 m³/h, przy średniej porowatości 3% i przepuszczalności od 8 do 12 mD (Jurkiewicz, 1976, 1980). Zwierciadło swobodne wód stabilizowało się na głębokości ok. 140 m p.p.t. Średnia porowatość efektywna utworów dewonu dolnego podłoża niecki miechowskiej wynosi ok. 2,9%, skały te są jednak silnie spękane co znacznie polepsza ich właściwości kolektorskie. Wodonośne poziomy dolnodewońskie znajdują się przypuszczalnie w kontakcie hydraulicznym z poziomami utworów starszych, a w przypadku ich nieprzepuszczalności utwory poddewońskie stanowią spągowe uszczelnienie całego piętra dewońskiego. Obszary bezpośredniego zasilania poziomu dolnodewońskiego można wiązać z rejonem Gór Świętokrzyskich, lecz wydaje się, że przede wszystkim jest on zasilany w sposób pośredni od strony wyżejległych poziomów wodonośnych środkowego i górnego dewonu.

W podłożu zapadliska przedkarpackiego z piaskowcowo-zlepieńcowo-lupkowych utworów dewonu dolnego o średniej miąższości ok. 100 m uzyskiwano przyływy solanek m.in. w otworach Wyciąże 4 i Niepołomice 11 (ryc.1). W kierunku południowym, pod nasunięciem Karpat wykazują one korzystne parametry zbiornikowe jedynie w skali lokalnej (Konior, 1970), gdzie ich porowatość efektywna zawarta jest w przedziale od 0 do 16,5%, a przepuszczalność od 0 do 125 mD. W otworze Mogilany 1 na S od Krakowa porowatość efektywna wahała się od 0,33 do 12,81%, a przepuszczalność od 0 do 6,3 mD.

Znacznie korzystniej przedstawiają się parametry zbiornikowe młodszych utworów dewonu. W skałach dewonu środkowego i górnego występują bowiem główne poziomy wodonośne paleozoiku podłoża niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpackiego. Często znajdują się one w łączności hydraulicznej z niżej ległymi poziomami dewonu dolnego, o czym świadczą przyływy wód, uzyskiwane po opróbowaniu strefy kontaktu obu poziomów (np. w otworach Potok Mały IG1, Boża Wola IG1).

Liczne samowypływy wód obserwowano z utworów środkowo- i górnodewońskich na obszarze zapadliska przedkarpackiego (tab.1), zanikające na obszarze niecki miechowskiej. Gorsze parametry zbiornikowe tych utworów w podłożu niecki miechowskiej ulegają polepszeniu jedynie w strefach spękań, gdzie szczelinowatość wapieni i dolomitów umożliwia uzyskanie większych wydajności (otwór Boża Wola IG 1, Węgrzynów IG 1, tab.1). Jednak nawet w tych strefach zwierciadło swobodne stabilizowało się na stosunkowo niskim poziomie 150–250 m p.p.t. (Jurkiewicz, 1973, 1976, 1993). Średnia porowatość tych utworów w podłożu niecki miechowskiej wynosi od 1,0 do 7%, a wartość maksymalną 17% stwierdzono w otworze Boża Wola IG1, w obrębie szczelinowatych dolomitów dewonu środkowego. Poza strefami spękań są to skały przeważnie o przepuszczalności poniżej 5 mD, bądź całkowicie nieprzepuszczalne. Poziomy te zasilane są przypuszczalnie głównie pośrednio poprzez kontakt z poziomami wodonośnymi jury i triasu.

Korzystniej przedstawiają się właściwości kolektorskie dewonu środkowego i górnego w podłożu zapadliska przedkarpackiego i Karpat (Moryc, 1970, 1976; Konior, 1978). Jest to przypuszczalnie związane z tektoniką tej strefy umożliwiającą pośredni kontakt tych poziomów z

wyniesionymi obszarami zasilania w rejonie Jury Krakowsko-Częstochowskiej szczególnie tam, gdzie utwory te leżą bezpośrednio pod wodonośnym piętrzem jury na NW od Krakowa (ryc.1). Potwierdzają to liczne samowypływy wód z otworów w większości usytuowanych na linii Bochnia–Kraków–Słomniki (ryc. 3). Znaczenie szczelinowatości dla polepszenia parametrów zbiornikowych potwierdza fakt, iż samowypływy o wartościach przekraczających niekiedy 10 m³/h uzyskiwane były z utworów dewonu o porowatości efektywnej (zmierzonej laboratoryjnie) 1% i niemal zerowej przepuszczalności (otwory Niepołomice 11; Wyciąże 4, 6; tab.1). Badania prowadzone przez Koniora (1978) na obszarze zapadliska przedkarpackiego wskazują, że porowatości całkowite utworów dewonu środkowego i górnego waha się pomiędzy 0–14%, a przepuszczalności od 0 do 36 mD.

Samowypływy notowane w otworach Zalesie 1, Radwanów 2, Żółcza 1 we wschodniej części obszaru, są przypuszczalnie związane z wyniesionymi strefami zasilania bezpośredniego i pośredniego w rejonie Gór Świętokrzyskich.

Dewon podłoża Karpat analizowany był m.in. przez Koniora (1970, 1978), który stwierdził, że porowatość efektywna dolomitów i wapieni waha się od 0 do 9,85%, a wartość przepuszczalności od 1,2 do 1,6 mD, natomiast polepszenie parametrów zbiornikowych tych utworów następuje w kierunkach na SW od Wadowic (Kęty, Andrychów). Odkrycie w latach 80. złoża gazu ziemnego Lachowice k. Suchej Beskidzkiej w utworach węglanowych dewonu górnego i środkowego w podłożu Karpat wskazuje, że poprawy cech zbiornikowych skał można oczekiwać głównie w sąsiedztwie stref dyslokacyjnych (Baran i in., 1997). Korzystnie przedstawiają się również parametry zbiornikowe utworów dewonu w zwietrziałych strefach przypowierzchniowych. Na terenie Krakowa (Kobierzyn) na głębokości ok. 300 m nawiercono dewońskie wapienie, z których uzyskano przyływ wody słodkiej o wydajności 18 m³/h. Wyznaczony współczynnik filtracji był dość wysoki i wynosił $1,8 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Zbiornik dewoński nie posiada stropowego uszczelnienia w skali regionalnej. Utwory dewonu przykryte są osadami karbonu, permu, triasu, jury a nawet miocenu w rejonie Lachowic, które wykazują bardzo zróżnicowane parametry zbiornikowe, od skał uszczelniających zbiornik dewoński, po skały, którymi następuje jego bezpośrednie zasilanie.

Zbiornik sylurski. W podłożu niecki miechowskiej stwierdzone w trzech otworach utwory sylurskie opróbowano jedynie w otworze Jaronowice IG1 (Jurkiewicz, 1976). W strefie kontaktu z utworami ordowiku (na głębokości ok. 2275 m) uzyskano przyływ solanki 0,017 m³/h, natomiast z utworów syluru wykształconych jako iłowce, mułowce, łupki, zlepieńce przyływu nie zaobserwowano. Średnia porowatość efektywna tych utworów wynosi ok. 5%, a przepuszczalność 15 mD.

W podłożu zapadliska przedkarpackiego w rejonie krakowskim, zlepieńce szarogłazowe i sfyllityzowane łupki sylurskie między Krakowem a Bochnią były badane w odwiercie Wyciąże 4 (ryc.1), gdzie stwierdzono porowatość efektywną ok. 3% (Oszczypko, 1981), jednak nie

wykonano opróbowań. Analizy tych utworów prowadzone przez Koniora (1973), wskazują, że są to utwory nieprzepuszczalne o porowatościach rzadko przekraczających 2%.

Utwory syluru i ordowiku nie mają większego znaczenia hydrogeologicznego nie tylko ze względu na niskie wartości parametrów zbiornikowych ale również z powodu ich ograniczonego występowania

Zbiornik ordowicki. W podłożu niecki miechowskiej utwory ordowiku opróbowano w otworze Książ Wielki IG1 (Jurkiewicz, 1991b). W interwale głębokościowym 1265–1290 ze spękanych wapieni uzyskano przyływ solanki w ilości 0,5 m³/h przy zwierciadle swobodnym stabilizującym się na głębokości ok. 400 m p.p.t. Świadczy to o niskich właściwościach kolektorskich tych utworów. W otworze Jaronowice IG1 utwory ordowiku występują w facji piaskowcowej o porowatości średniej ok. 3% i przepuszczalności ok. 15 mD, jednak nie były one opróbowane. W podłożu zapadliska przedkarpackiego ordowik udokumentowany jedynie w otworze Mędrzechów 1 również nie był opróbowany.

Zbiornik kambryjski. Utwory kambru w podłożu niecki miechowskiej wykazują równie niekorzystne parametry zbiornikowe jak utwory ordowickie. Nawiercono je kilkoma otworami, m. in. Książ Wielki IG1, Brzegi IG1, Jędrzejów IG 1, lecz jedynie w otworze Książ Wielki IG 1 stwierdzono przyływ solanki ok. 0,3 m³/h o zwierciadle ustabilizowanym na głębokości 280 m p.p.t. z piaskowcowych utworów o przepuszczalności maksymalnej 575 mD i porowatości ok. 1% (Jurkiewicz, 1991, 1995, 1999). Średnia porowatość efektywna tych utworów w podłożu niecki miechowskiej wynosi ok. 1,5%, a przepuszczalność ok. kilku mD za wyjątkiem w/w anomalnej strefy otworu Książ Wielki IG 1.

W analizowanej części podłoża zapadliska przedkarpackiego, utworów kambru dotychczas nie stwierdzono, natomiast występują one w podłożu Karpat na południe od Krakowa, co wykazano otworami Borzęta IG1, Głogoczów IG1, Mogilany 1 oraz Rajbrot 1 i 2 — ok. 15 km na S od Bochni (Jawor, 1997). W osadach kambryjskich w otworze Głogoczów IG1 rozpoznano poziomy wód subartezyjskich o zwierciadle swobodnym na głębokości 285 m (25 m n.p.m.). Parametry zbiornikowe utworów kambru przedstawiają się znacznie korzystniej w porównaniu do utworów podłoża niecki miechowskiej. Szczególnie w otworze Lachowice 7 (7 km na W od otworu Sucha IG1, ryc. 1), gdzie porowatość piaskowców kambryjskich dochodzi do 17%, przepuszczalność do kilkudziesięciu mD, a wielkość przyływu wody złożowej do otworu 12,2 m³/h. Podobne parametry zbiornikowe wykazują piaskowce kambru dalej na zachód w rejonie Andrychowa i Kęt.

Zbiornik prekambryjski. Utwory prekambryjskie wykształcone głównie w postaci łupków metamorficznych są najczęściej nieprzepuszczalne. W podłożu niecki miechowskiej nie obserwowano z tych utworów żadnych przyływów wód do otworów, bądź przyływy te były znikome. W otworze Potok Mały IG 1 (ryc. 1) na trzy opróbowania niemal 800-metrowego profilu łupków, piaskowców, iłowców i zlepieńców, jedynie z serii zlepieńcowej

zdołano uzyskać 0,02 m³/h solanki (Jurkiewicz, 1980). W otworach Książ Wielki IG1 i Węgrzynów IG1 obserwowano co prawda przyływy odpowiednio 0,3 m³/h i 0,01 m³/h, jednak wody dopływały przypuszczalnie również z poziomów kambru i cechsztynu. Średnia porowatość efektywna utworów prekambru w tym obszarze wynosi ok. 1% przy przepuszczalności efektywnej od 0 do 9,0 mD (Jurkiewicz, 1991). W innych analizowanych otworach nie stwierdzono przyływu wód z poziomów prekambryjskich.

Bardzo słabe właściwości zbiornikowe utwory prekambryjskie wykazują również w podłożu zapadliska przedkarpackiego. Jedynie w stropowych, zwietrzałych partiach i w przypadku istnienia wspólnego poziomu wodonośnego z wyżej leżącymi osadami, utwory te mogą być zawodnione jak w rejonie Dobczyc (Oszczypko, 1981). Z utworów tych nawierconych m.in. otworami Puszcza 14, Niepołomice 11, Radłów 5, Zagość 2, Wyciąże 4 (ryc. 1), nie uzyskano żadnego przyływu wód złożowych. Parametry zbiornikowe utworów prekambryjskich w strefie przykarpackiej mierzone na zachód od Wadowic (Konior, 1970) były również niskie i wynosiły: porowatość średnia ok. 2% i przepuszczalność ok. 1 mD.

Nieliczne dane pomiarowe i rozczłonkowanie poszczególnych paleozoicznych zbiorników wód podziemnych nie pozwala na wiarygodną ocenę kierunków krążenia i wymiany wód. Jedynie w przypadku zbiornika dewońskiego dane z czterech otworów (Pagów IG1, Jaronowice IG1, Węgrzynów IG1, Boża Wola IG1) umożliwiły określenie orientacyjnego kierunku przepływu wód podziemnych w NW części podłoża niecki miechowskiej. Ciśnienie złożowe oszacowane dla tych otworów zawierało się w przedziale od ok. 20 do 30 MPa. Po uwzględnieniu zróżnicowania mineralizacji i wyznaczeniu wartości ciśnień zredukowanych (wg Szczepański, 1990) stwierdzono, że ruch wód w utworach dewońskich w tej części podłoża niecki miechowskiej odbywa się generalnie w kierunku E i NE tzn. od strefy otworów Pagów IG1 — Węgrzynów IG1 ku strefie otworów Jaronowice IG1 — Boża Wola IG1 (ryc. 3).

Należy jednak zaznaczyć, że zbiornik dewoński nie posiada ciągłego rozprzestrzenienia, a liczne dyslokacje dzielą go na szereg odosobnionych stref zbiornikowych o indywidualnym uszczelnieniu, zasilaniu i kierunkach przepływu.

W paleozoicznym podłożu zapadliska przedkarpackiego jedynie dane z otworów Wyciąże 6 i Łapczyca 2 (ciśnienie złożowe ok. 20 MPa) pozwoliły na wyznaczenie orientacyjnego kierunku przepływu wód w utworach dewonu w kierunku na NE od strefy ww. otworów (ryc.3).

Warunki termiczne wód i skał zbiorników paleozoicznych

Mając na uwadze potencjalne możliwości wykorzystania wód termalnych, szerszej analizie poddano głównie piętro dewońskie i w ograniczonym zakresie permsko-karbońskie. Dane dotyczące warunków termicznych panujących w obrębie tych utworów uzyskano z danych literaturowych (Jurkiewicz i in., 1973–1999; Plewa, 1994; Moryc, 1970,1976) i archiwalnych PGNiG S.A. oraz oceniono na podstawie własnych analiz.

Na obszarze niecki miechowskiej temperatury w stropie utworów paleozoiku zmieniają się w zakresie od ok. 34°C w otworze Węgrzynów IG1 (strop karbonu, głębokość 1059 m) do 84°C w otworze Pągów IG1 (strop cechsztynu, głębokość 2472 m). Zróżnicowanie temperatur w stropie utworów paleozoiku jest jednak nie tylko konsekwencją zmiennej głębokości zalegania tych utworów. Przykładowo w otworze Węgrzynów IG1 na głębokości 2500 m wyznaczono temperaturę zaledwie 69°C, a w otworze Pągów IG 1 — 85°C w utworach dewonu środkowego (Jurkiewicz i in., 1973, 1976b). Biorąc pod uwagę głębokość, tego typu zróżnicowanie temperatur w obu otworach nie wynika z wychładzającego oddziaływania wód przypowierzchniowych, lecz jest związane z właściwościami cieplnymi ośrodka i/lub ewentualnym kontaktem hydraulicznym ze strefami wysoko temperaturowymi. Obserwuje się również zjawisko narastania tych różnic wraz z głębokością. W otworze Pągów IG1 na głębokości 3100 m temperatura wynosiła 102°C, a w otworze Węgrzynów IG1 — 83,4°C.

Niskie temperatury w strefie otworu Boża Wola IG1 (tab. 1) również należy wiązać z szybszym w tej strefie odprowadzaniem ciepła do stref przypowierzchniowych.

Analiza wartości gradientów geotermicznych kompleksów paleozoiczno-prekambryjskich podłoża niecki miechowskiej wykazała, że w utworach prekambryjskich jego wartość średnia gradientu wynosi ok. 2,43°C/100 m, w utworach ordowiku 3,57°C/100 m, syluru 2,31°C/100 m, dewonu 1,9°C/1–0 m, karbonu 2,8°C/100 m, w otworach permu 1,87°C/100 m (Jurkiewicz & Szczerba, 1976b). Najwyższą wartość gradientu geotermicznego 6,0°C/100 m zarejestrowano w otworze Węgrzynów IG 1, w dolomitach dewonu środkowego, w interwale głębokości 3000–3100 m.

W podłożu paleozoicznym zapadliska przedkarpackiego, w otworze Żółcza 1 (tab.1) wartość średniego gradientu geotermicznego w interwale utworów karbonu dolnego (1734–2229 m) wynosi 3,81°C/100 m, a dla dewonu górnego (2229–2265 m) — 3,27°C/100 m. Strefa tego otworu należy jednak do obszaru wyraźnej, dodatniej anomalii termicznej, gdzie w zakresie głębokości 250–2050 m gradient geotermiczny wynosi 3,4°C/100 m i gdzie na głębokości 2130 m (dewon górny) zarejestrowano temperaturę ok. 85°C (Plewa, 1994).

W otworze Głogoczków IG1, na głębokości 3000 m temperatura piaskowcowych utworów kambru wynosiła 80,5°C, utworów dewonu środkowego na głębokości od 1800 do 2500 m zmieniała się od 53–68°C, a w stropie karbonu dolnego na głębokości ok. 1200 m wynosiła 42°C (dane PIG).

Najbardziej predystynowany do wykorzystania wód termalnych spośród zbiorników paleozoicznych jest zbiornik dewoński (ryc. 3). Na szkicu rozkładu temperatur „stropowych” wód tego zbiornika widoczne są trzy rejonu wysokich temperatur: Pągowa, Radłowa i Żółczy. O ile obecność dwóch pierwszych jest uzasadniona znaczną głębokością utworów dewonu (ryc. 2), o tyle podwyższona temperatura rejonu Żółczy jest związana przypuszczalnie z czynnikami tektonicznymi, umożliwiającymi dopływ ciepła z wysoko temperaturowych głębszych stref i/lub z właściwościami cieplnymi ośrodka geologicznego.

Temperatury wód wód zbiornika dewońskiego na tym obszarze mogą osiągać wartości wyższe nawet o kilkanaście stopni Celsjusza w stosunku do podanych na ryc. 3, szczególnie tam, gdzie miąższość dewonu przekracza 1000 m.

Mineralizacja wód zbiorników paleozoicznych

Zakres zmienności głębokości zalegania wodonośnych pięter paleozoiku (ryc. 2, tab. 1) implikuje znaczne zróżnicowanie mineralizacji wód złożowych. W podożu niecki miechowskiej mineralizacja ogólna wód w poziomach paleozoiku waha się od 3,1 g/l (otwór Węgrzynów IG1, karbon dolny, głębokość 1350 m) do 238 g/l (otwór Boża Wola IG1, dewon dolny i środkowy, głębokość ok. 2350 m) (Jurkiewicz, 1973, 1993). Obserwowane są też przypadki zjawiska inwersji mineralizacji z głębokością, jak np. w otworze Potok Mały IG 1 (tab. 1).

Stwierdzone, maksymalne mineralizacje wód w poszczególnych zbiornikach paleozoicznego podłoża i permu niecki miechowskiej przedstawiono w tab. 2 (Jurkiewicz, 1973, 1974a, b, 1976a, b, 1991a, b, 1993).

Anomalnie niską mineralizację wykazują wody w karbonie dolnym, w otworze Węgrzynów IG– 1, a oprócz tego reprezentują typ wody HCO₃–Na (wg klasyfikacji Sulina), podczas gdy we wszystkich innych badanych otworach występują jedynie wody typu Cl–Ca. Charakterystyczną cechą wód pięter paleozoiku jest obecność w nich bromu.

Mineralizacja wód paleozoicznego podłoża zapadliska przedkarpackiego i strefy karpackiej, zmienia się od ok. 0,5 g/l (otwór Kryspinów 1, karbon dolny, głębokość 340 m) do ok. 214 g/l (dewon, rejon Lachowic). Średnia mineralizacja ogólna wód zbiornika karbońskiego wynosi na tym obszarze ok. 92 g/l, dewońskiego natomiast ok. 104 g/l (Oszczypko, 1981). Również tutaj solanki są głównie typu Cl–Ca (wg Sulina).

Możliwości wykorzystania wód zbiorników paleozoicznych

Przeprowadzone analizy wskazują, że ze zbiorników paleozoicznych analizowanego obszaru zbiornik dewoński ma największe znaczenie hydrogeologiczne oraz stwarza najlepsze perspektywy dla wykorzystania zgromadzonych wód termalnych.

Szczególnie korzystnie w aspekcie wykorzystania wód termalnych w utworach dewonu przedstawia się obszar pomiędzy Skalbmierzem, Krakowem i Bochnią (ryc. 3), gdzie solanki dewońskie często samoczynnie wypływały z otworów, a ich temperatury szacowane są od ok. 30 do 50°C. Poza tymi rejonami, w pojedynczych otworach stwierdzano występowanie korzystnych warunków hydrogeologicznych na SE od Buska (otwory Radzanów 2, Żółcza 1; ryc. 3, tab.1), jednak na obecnym etapie rozpoznania trudno ocenić czy można tu mówić o większej strefie, czy też jedynie o zjawisku typowo lokalnym.

Wody termalne zbiornika dewońskiego, we wschodniej części Krakowa (otw. Wyciąże 4,6, tab. 1) stwierdzono w węglanowych utworach dewonu górnego i środkowego, o miąższości przekraczającej 1000 m. Zakres możliwych do uzyskania temperatur wód waha się od 30 do ok. 45°C, co przy jednoczesnym występowaniu tutaj zbiornika górnourajskiego (Barbacki, 2002) i obserwowanych samo-

wyływach stwarza szczególnie korzystne warunki dla wykorzystania wód termalnych, bezpośrednio, jak i w systemach pomp ciepła. Również w rejonie Bochnia–Cikowice, gdzie oprócz występowania wód termalnych w poziomach dewonskich stwierdzono obecność jodo–bromowych solanek w poziomach miocenu i jury (Moryc, 1970), wody podziemne mogą zostać wykorzystane zarówno w geotermii, jak i balneologii.

Przedstawione w tab. 1 wskaźnikowe moce termiczne otworów nie oddają rzeczywistych, możliwych do uzyskania mocy cieplnej z wód paleozoiku. Wynika to przede wszystkim z braku danych o rzeczywistych wydajnościach poziomów (wyrywkowość opróbowań i brak próbnych pompowań), a to z kolei uniemożliwia określenie temperatur wód na wypywie z otworów. Ponadto przedstawione w tab.1 wartości mocy termicznych otworów wyznaczone zostały przy założeniu, że potencjalny odbiorca energii geotermalnej „schłodzi” eksploatowany płyn do temperatury +5°C (założone użycie pomp ciepła).

Temperatury wód w utworach permu i podłoża niecki miechowskiej również wskazują na możliwość wykorzystania zakumulowanej w nich energii geotermalnej, jednak położenie zwierciadła swobodnego tych wód poniżej 150 m p.p.t. we wszystkich analizowanych otworach jest czynnikiem niekorzystnym z punktu widzenia eksploatacji.

Znacznie korzystniej przedstawia się pod tym względem strefa podłoża zapadliska przedkarpackiego, gdzie samowypływy wód świadczą o możliwości uzyskania większych wydajności.

Literatura

- BARAN U. & JAWOR E. & JAWOR W. 1997 — Rozpoznanie geologiczne i wyniki prac poszukiwawczych za węglowodorami w zachodniej części polskich Karpat. *Prz. Geol.*, 45: 66–75.
- BUKOWY S. 1984 — Struktury warwysycjskie regionu śląsko-krakowskiego. *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach*, 691: 1–75.
- BUKOWY S. 1997 — Rozwój poglądów geologicznych na budowę paleozoiku regionu krakowsko-lublinieckiego. *Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia*, PAN Kraków z. 1–2: 15–24.
- BUŁA Z. & JACHOWICZ M. 1996 — The Lower Paleozoic sediments in the Upper Silesian Block. *Kwart. Geol.*, 40: 299–336.
- BUŁA Z. 1999 — Utwory dolnokambryjskie w podłożu Karpat zachodnich. *Mat.Konf. „Przemysł naftowy i nauka razem XX w. wiek” Karpcka Konferencja Naukowa; Raba Niżna '99.*
- FLOREK R. & JAWOR E. & ZACHARSKI J. 1999 — Paleozoik podkarpacki jako potencjalny obszar poszukiwań złóż węglowodorów. *Mat.Konf. „Przemysł naftowy i nauka razem XX w. wiek” Karpcka Konferencja Naukowa; Raba Niżna '99.*
- JAWOR E. 1970 — Węglona budowa geologiczna na wschód od Krakowa. *Acta Geol. Pol.*, 20: 709–762.
- JAWOR E. & BARAN U. 1999 — Regionalne rozpoznanie utworów paleozoiku w podłożu zapadliska przedkarpackiego. *Mat. Konf. „Przemysł naftowy i nauka razem XX w. wiek” Karpcka Konferencja Naukowa; Raba Niżna '99.*
- JURKIEWICZ H. & ŻAKOWA H. 1972 — Rozwój litologiczno-paleogeograficzny dewonu i dolnego karbonu w Niece Nidziańskiej. *Kwart. Geol.*, 16: 817–850.
- JURKIEWICZ H. & MASZOŃSKA D. & SZCZERBA A. & WOJŃSKI J. 1973 — Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Węgrzyn IG–1. z. 7. Instytut Geologiczny.
- JURKIEWICZ H. & MASZOŃSKA D. & WOJŃSKI J. 1974a — Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Węgleszyn IG–1. z. 19. Instytut Geologiczny.
- JURKIEWICZ H. & KANIA Z. & MASZOŃSKA D. & SZCZERBA A. 1974b — Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Milianów IG–1. z. 21. Instytut Geologiczny.
- JURKIEWICZ H. 1975 — Budowa geologiczna podłoża mezozoiku centralnej części niecki miechowskiej. *Biul. Inst. Geol.*, 283: 5–100.
- JURKIEWICZ H. & SZCZERBA A. & WOJŃSKI J. 1976a — Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Jaronowice IG–1. z.34. Instytut Geologiczny.
- JURKIEWICZ H. & MASZOŃSKA D. & WOJŃSKI J. 1976b — Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Pagów IG–1. z. 33. Instytut Geologiczny.
- JURKIEWICZ H. & SZCZERBA A. 1976c — Wyniki badań termicznych centralnej części niecki miechowskiej i przyległego obszaru Gór Świętokrzyskich. *Biul. Instytutu Geologicznego* 296, T. 12.
- JURKIEWICZ H. & MARKIEWICZ D. 1980 — Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Potok Mały IG–1. z. 51. Instytut Geologiczny.
- JURKIEWICZ H. & KRÓLIKOWSKA-MASZOŃSKA D. 1990 — Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Włoszczowa IG–1. z. 70. Państw. Inst. Geol.
- JURKIEWICZ H. & MASZOŃSKA B. & SZCZERBA A. 1991a — Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego. Biała Wielka IG–1. z. 74. Państw. Inst. Geol.
- JURKIEWICZ H. & KANIA-CIOPIŃSKA W. & SZCZERBA A. 1991b — Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego. Książ Wielki IG–1. z. 71. Państw. Inst. Geol.
- JURKIEWICZ H. & WOJŃSKI J. 1993 — Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego. Boża Wola IG–1. z.76. Państw. Inst. Geol.
- JURKIEWICZ H. & MASZOŃSKA B. 1994 — Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego. Secemin IG–1. z. 77. Państw. Inst. Geol.
- JURKIEWICZ H. & MASZOŃSKA D. 1995 — Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego. Brzegi IG–1. z. 80. Państw. Inst. Geol.
- JURKIEWICZ H. & KANIA Z. 1999 — Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego. Jędrzejów IG–1. z. 92. Państw. Inst. Geol.
- KONIOR K. 1970 — Własności kolektorskie metamorficzno-krystalicznego podłoża i utworów paleozoicznych południowego obrzeżenia GZW w obszarze Bielsko–Mogilany. *Geofizyka i Geologia Naftowa*, Kraków, Nr 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 paleostrukturalna i charakterystyka skał zbiornikowych wypiętrzania rzeszotarskiego i obszarów sąsiadujących. *Komisja Nauk Geologicznych PAN, Kraków. Pr. Geol.*, 112: 3–63.
- KOWALCZEWSKI Z. 1990 — Grubookruchowe skały kambru na środkowym południu Polski (litostratygrafia, tektonika, paleogeografia). *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 131: 1–82.
- MORYC W. 1970a, b — Katalog Wierceń Górnictwa Naftowego — Geonafta, t. I, cz. 3, 4.
- MORYC W. 1971 — Trias przedgórza Karpat środkowych. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, z. 3: 419–484.
- MORYC W. 1976 — Katalog Wierceń Górnictwa Naftowego — Geonafta, t. I, cz. 5.
- OSZCZYPKO N. 1981 — Wpływ neogeńskiej przebudowy przedgórza Karpat na warunki hydrodynamiczne i hydrochemiczne zapadliska przedkarpackiego. *Biul. Inst. Geol.*, 325: 5–87.
- PLEWA S. 1994 — Rozkład parametrów geotermalnych na obszarze Polski. *Wydawnictwo CPPGSMiE, PAN, Kraków*: 1–138.
- RÓŻKOWSKI A. 1996 — Warunki występowania wód termalnych w masywie górnośląskim. *Technika Poszukiwań Geologicznych-Geosynoptyka i Geotermia*, 3–4: 9–12.
- SZCZEPAŃSKI A. 1990 — Atlas wód geotermalnych Niżu Polskiego (objaśnienia tekstowe), praca zbiorowa pod red. Górecki W., ISE, AGH, Kraków: 123–134.
- TREPIERZYŃSKI J. 1987 — Tektonika paleozoiku w strefie granicznej podłoża monokliny przedsudeckiej i śląsko-krakowskiej. *Biul. Instytutu Geologicznego*, 357: 61–98.
- ŻABA J. 1999 — Ewolucja strukturalna utworów dolnopaleozoicznych w strefie granicznej bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 166: 1–162.
- ŻAKOWA H. & JURKIEWICZ H. 1972 — Rozwój litologiczno-paleogeograficzny dewonu idolnego karbonu w Niece Miechowskiej. *Kwart. Geol.*, 16: 817–850.