

Triasowy zbiornik wód geotermalnych niecki miechowskiej i centralnej części zapadliska przedkarpackiego

Antoni P. Barbacki*, Barbara Uliasz-Misiak*

Triassic aquifer of geothermal waters of the Miechów Trough and central part of the Carpathian Foredeep. Prz. Geol., 51: 517–526.

S u m m a r y. The paper present results of research on a Triassic reservoir of geothermal waters within the Miechów Trough and adjacent areas. Studies included depth estimation the zones of favourable reservoir parametres, temperatures of accumulated waters, flow conditions, mineralization and locating zones where geothermal energy can be feasibly used. It was established that Triassic waters can be used for heating both directly and by heat pump systems. Particularly feasible conditions for these purposes occur in the areas of regional dislocations (e.g., near Kozłów, Książ Wielki, and Działoszyce).

Key words: Triassic reservoir, hydrogeothermy, Miechów Trough, Carpathian Foredeep

Na terenie Polski wykorzystanie wód geotermalnych występujących w utworach triasowych ma miejsce na obszarze zbiornika podhalańskiego, gdzie wydajności wód z niektórych ujęć dochodzą nawet do 800 m³/h (Sokołowski, 1985; Długosz, 2000). Zbiornik triasowy w obszarze niecki miechowskiej i centralnej części zapadliska przedkarpackiego wykazuje jednak odmienną budowę geologiczną oraz inne cechy hydrogeologiczne. Posiada również wyniesione obszary bezpośredniego zasilania kreuujące niekiedy warunki artezyjskie, jednak ani parametry zbiornikowe ani miąższości i głębokości stref wodonośnych nie umożliwiają uzyskania podobnych parametrów geotermalnych. Porównywalne do obserwowanych na Podhalu wydajności wykazują poziomy triasu na NW od analizowanego obszaru, tj. wzdłuż strefy Myszków–Lubliniec (monoklina śląsko-krakowska i wschodni kraniec monokliny przedsudeckiej). Wydajności pojedynczych studni eksploatujących wodę głównie z poziomów wapienia muszlowego często przekraczają 200 m³/h, jednak nie występują tam warunki artezyjskie, a temperatury wód nie są wyższe niż 20°C. Bardziej na wschód, na analizowanym obszarze niecki miechowskiej parametry zbiornikowe wapienia muszlowego ulegają pogorszeniu, natomiast głównym poziomem wodonośnym stają się płycej zalegające utwory triasu górnego, głównie retyku (Jurkiewicz i in., 1973–1999; Moryc, 1970a, 1970b, 1976; Głowacki i in., 1971). Lokalnie występują warunki artezyjskie, przy czym wydajności samowypływów nie przekraczają 10 m³/h, przy ciśnieniach głowicowych poniżej 0,25 MPa. Ponowną zmianę cech hydrogeologicznych triasowego piętra wodonośnego zarejestrowano 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.

Pozostałe poziomy triasu, tj. kajpru i retu, wykazują na analizowanym obszarze korzystne cechy zbiornikowe jedynie lokalnie i stanowią głównie uszczelnienie (warstwę izolującą) dla pozostałych poziomów wodonośnych triasu.

Z analizy danych litologicznych i hydrogeologicznych z obszaru niecki miechowskiej (Jurkiewicz i in.,

1973–1999) 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, ilowce oraz łupki paleozoiku i prekambriu.

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

Główne poziomy wodonośne triasu, w których występują wody geotermalne są zbudowane z utworów piaskowcowych retyku (niecka miechowska) i pstrego piaskowca niższego (zapadlisko przedkarpackie). Poziom wapienia muszlowego jest zbudowany z utworów węglanowych i jedynie sporadycznie wykazuje korzystne parametry zbiornikowe.

Zasoby geotermalne zbiornika triasowego na analizowanym obszarze są zasobami niskotemperaturowymi (20–80°C), występującymi w warunkach artezyjskich i subartezyjskich z wodami o silnie zróżnicowanej mineralizacji (1,36–235,0 g/l).

Budowa geologiczna zbiornika triasowego

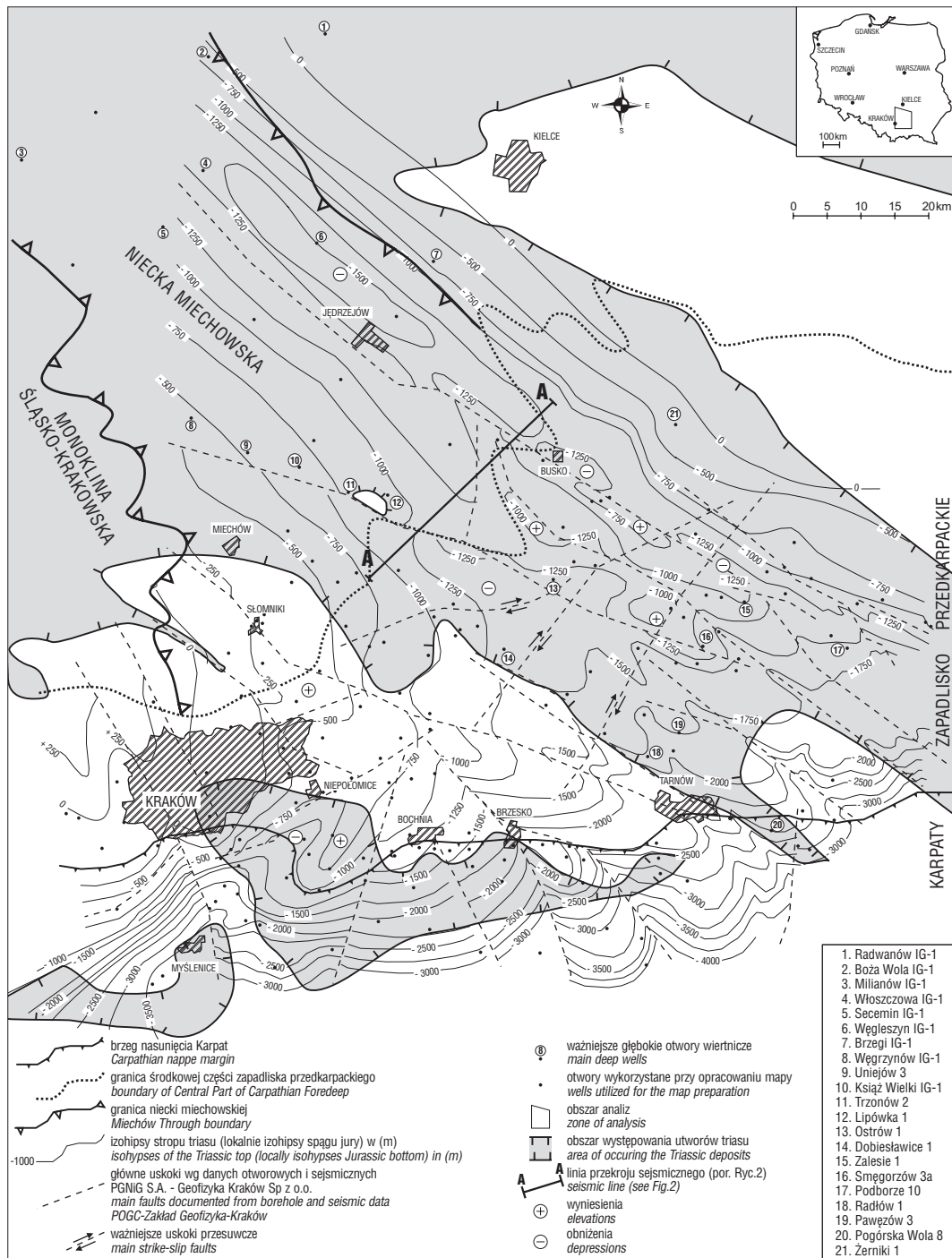
Parametry hydrogeologiczne zbiornika triasowego są ściśle powiązane z litologią utworów triasu, ich diagenetą oraz z procesami erozyjno-tektonicznymi zachodzącymi zarówno w triasie, jak i w okresach późniejszych.

Utwory triasu na obszarze niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpackiego były przedmiotem badań takich autorów, jak: Senkowiczowa (1959, 1965, 1973), Jawor (1963, 1970), Stemulak (1963), Moryc (1970a, b, 1971, 1988), Głowacki i in. (1971), Kopik (1973), Jurkiewicz (1973–1999), Oszczytko (1981), Szyperko-Teller (1988), Gajewska (1988), Franczyk i Deczkowski (1988), Iwanow (1998).

Wyniki ich prac opisują główne cechy strukturalne i litologiczne tych utworów, ich zasięgi, głębokości ich występowania, miąższości oraz środowiska ich sedymentacji.

Litologia utworów triasowych na badanym obszarze jest złożona; występują tutaj zarówno utwory piaskowcowo-ilasto-mułowcowe, jak i węglanowe (wapienie, margle, dolomity), co wynika ze zmienności środowisk sedymentacji w okresie triasu: począwszy od środowisk lądowych, poprzez jeziorno-lagunowe, do środowisk morskich. Duży wpływ na zasięg i miąższość poszczególnych poziomów triasu miały procesy erozyjno-tektoniczne, które w pewnych strefach spowodowały ich erozję, nawet do

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



Ryc. 1. Strukturalna mapa powierzchni stropowej utworów triasu (poza zasięgiem triasu powierzchnia utworów paleozoiku) — według danych otworowych PGNiG S.A. i PIG

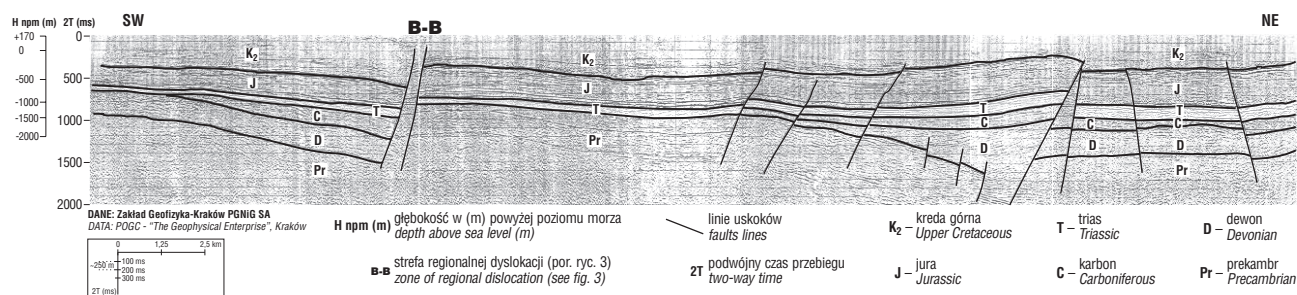
Fig. 1. Structural map of the Triassic top (paleozoic top is outside Triassic extent) — from POGC EP and PGI borehole data

całkowitego usunięcia osadów triasu (Moryc, 1971; Senkowiczowa, 1973; Jurkiewicz i in., 1974a).

Sedymentacja utworów triasu została zapoczątkowana osadzeniem ilasto-piaszczystych kompleksów pstrego piaskowca. Na obszarze zapadliśka przedkarpackiego charakterystyczną cechą strukturalną środowisk sedymentacyjnych rowów tektonicznych, gdzie miąższość osadów przekracza 600 m (np. w otworze Jadowniki 5 na S od Brzeska), a nawet 1000 m (otwór Radłów 1, ryc.1), (Moryc, 1971). Obok stref o znacznych miąższościach na

analizowanym obszarze występowały miejsca bardziej wyniesione, gdzie brak osadów niższego pstrego piaskowca może być natury sedymentacyjnej (np. strefa otworów Secemin IG-1 — Trzonów 2, ryc.1; Moryc, 1971; Jurkiewicz i in., 1974a).

Na obszarze niecki miechowskiej miąższość tych osadów jedynie na NE od otworu Pągów IG-1 (ryc. 3) przekracza 300 m, natomiast średnio wynosi ok. 200 m (Jurkiewicz i in., 1974a). Brak tych osadów stwierdzono natomiast w otworach: Książ Wielki IG-1, Potok Mały IG-1, Jędrzejów IG-1, Węgrzynów IG-1, Jaronowice



Ryc. 2. Przekrój sejsmiczny z rejonu Pińczów–Busko (lokalizacja profilu — ryc.1)
Fig. 2. Seismic section from the Pińczów–Busko area (seismic line localisation — fig. 1)

IG–1, Biała Wielka IG–1, Włoszczowa IG–1 (ryc. 1). Osady te są reprezentowane przez utwory piaskowcowo-mułowcowe i przez pstre łupki w ogniwach stropowych (Jurkiewicz i in., 1974a).

W okresie górnego pstręgo piaskowca (retu) w strefie zapadliska przedkarpacciego były deponowane osady rozwinięte w morsko-lagunowej facji utworów marglisto-wapiennych i dolomitycznych (Moryc, 1971). Miąższość utworów retu na tym obszarze wynosi ok. 100 m.

Na obszarze niecki miechowskiej litologia deponowanych osadów jest zbliżona do litologii osadów retu zapadliska przedkarpacciego, podobnie zresztą jak i ich miąższość.

W triasie środkowym powiększający się zasięg morza prowadzi do zmiany środowiska sedimentacji z lagunowo-morskiego na pełnomorskie (Senkowiczowa, 1959; Moryc, 1971). Utwory wapienia muszlowego zarówno w strefie niecki miechowskiej, jak i zapadliska przedkarpacciego są reprezentowane przez wapienie, margle, dolomity i wapienie dolomityczne. Miąższości tych utworów na obszarze niecki miechowskiej osiągają wartości do 200 m (Jurkiewicz i in., 1993), a na obszarze zapadliska przedkarpacciego do 100 m (Moryc, 1970a, b; 1976).

Po okresie spłycaeniu zbiornika ponowna transgresja morska rozpoczyna się w kajperze. Na obszarze zapadliska przedkarpacciego osadziły się ily i iłołupki z wkładkami piaskowców przechodzące w ilastą pstrą fację o miąższości do 150 m, reprezentujące dolny kajper, brak jest natomiast osadów kajpru górnego (Moryc, 1971).

Na obszarze niecki miechowskiej osady kajpru dolnego (piaskowce, łupki) są słabo rozwinięte (średnio 20 m miąższości), występują natomiast osady kajpru górnego (średnia miąższość 65 m).

Największa różnica obu stref jest jednak związana z osadami retyku, które na obszarze zapadliska przedkarpacciego występują szczątkowo, a na obszarze niecki miechowskiej ich miąższość dochodzi do 340 m (otwór Węgleszyn IG–1 ryc. 1; Jurkiewicz i in., 1974b). Osady retyku niecki miechowskiej są wykształcone bardzo różnorodnie: są to wapienie, dolomity, anhydryty, piaskowce, mułowce, gipsy — jednak przeważają osady ilasto-mułowcowo-piaszczyste. Duże miąższości retyku na tym obszarze są związane ze znacznym obniżeniem dna zbiornika sedimentacyjnego, które trwało aż do końca triasu, podczas gdy obszar zapadliska przedkarpacciego pozostawał wyniesiony (Iwanow, 1998).

Po okresie triasu obszar niecki miechowskiej został wyniesiony i poddany erozji usuwającej wyższe ogniwa retyku (Jurkiewicz i in., 1974), natomiast na obszarze zapadliska przedkarpacciego, gdzie erozja była bardziej intensywna na znacznym obszarze utwory triasu zostały usunięte całkowicie (strefa Kraków–Krzeszowice–Miechów–Tarnów; ryc.1).

Powierzchnia stropowa triasu na obszarze zapadliska przedkarpacciego tworzy formę nieckowatą ze strefą osiową przebiegającą mniej więcej na linii Trzonów–Tarnów (ryc. 1). Na obszarze niecki miechowskiej strefa osiowa przesunięta jest w kierunku NE o około 25 km z wyraźną kulminacją depresji w rejonie Jędrzejowa (strefa Włoszczowa–Busko, ryc. 1). Na przekroju sejsmicznym, który przebiega przez obszar łączący obie wyżej wymienione strefy osiowe (ryc. 2) strefa Trzonów–Tarnów zaznacza się obniżeniem widocznym w lewej części przekroju sejsmicznego (strefa uskoku B–B), natomiast strefa Włoszczowa–Busko wyniesieniem w części prawej przekroju (nasuwający uskoku odwrócony).

Ruchy tektoniczne związane z wymienionymi strefami osiowymi mogły doprowadzić do silnego spękania i zeszcelinowania utworów triasu i powstania tam korzystnych warunków zbiornikowych.

Przedstawiona na ryc. 1 mapa ukształtowania stropowej powierzchni utworów triasu wskazuje, że zróżnicowanie głębokościowe stropu utworów triasu na tym obszarze wynosi około 3300 m (rejon Olkusza: +300 m n.p.m. i rejon na SE od Tarnowa, otwór Łęki Górne 2: –2949 m n.p.m.).

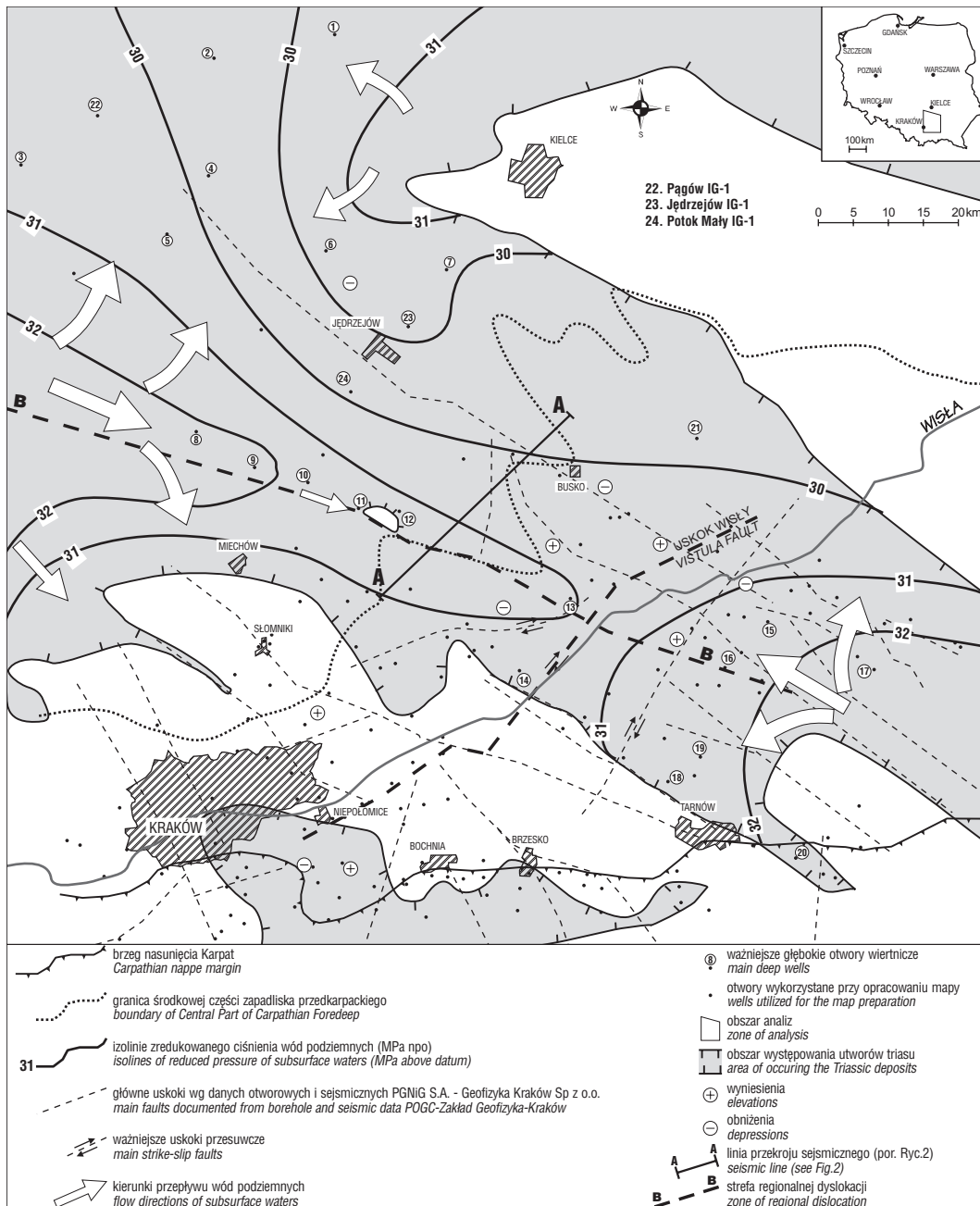
Taki zakres głębokościowy położenia stropu wskazuje, że wartości temperatur stropowych utworów triasu i nagromadzonych tam wód mogą znajdować się w szerokim zakresie: od około 10 do 100°C.

Parametry hydrogeologiczne zbiornika triasowego

Na analizowanym obszarze wyraźnie zaznacza się odmienność hydrogeologiczna zbiornika triasowego niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpacciego, będąca konsekwencją zróżnicowania występujących tam procesów geologicznych w triasie i w okresach późniejszych. Na obszarze niecki miechowskiej głównym poziomem wodonośnym są piaskowcowe utwory retyku, natomiast na obszarze zapadliska przedkarpacciego — piaskowcowe utwory niższego pstręgo piaskowca (Kotlicki, 1962; Moryc, 1970a, b; Głowacki i in., 1971; Jurkiewicz i in., 1973–1999; Motyka & Wilk, 1976; Oszczypko, 1981).

Zarówno jednak utwory niższego pstręgo piaskowca, jak i retyku wykazują dużą zmienność właściwości zbiornikowych: od bardzo dobrych do całkowitego ich zaniku. Wynika to ze specyficznej litologii tych osadów, gdzie w obrębie nieprzepuszczalnych serii ilasto-mułowcowych występują serie piaskowcowe o korzystnych parametrach zbiornikowych (Jurkiewicz i in., 1973, 1974b, 1976b).

Na obszarze zapadliska przedkarpacciego obserwuje się wyraźny związek korzystnych właściwości zbiornikowych poziomu niższego pstręgo piaskowca ze strefami jego dużych miąższości (otwory: Radłów 1, Pawezów 3, Podborze 10, Dobiesławice 1 — samowypływy, przy



Ryc. 3. Mapa pola hydrodynamicznego triasowego zbiornika wód podziemnych
 Fig. 3. Map of hydrodynamics field of Triassic aquifer of subsurface waters

miąższościach powyżej 300 m; tab. 1). Zjawiska tego nie obserwuje się natomiast w przypadku osadów retyku niecki miechowskiej, gdzie serie piaskowce występują licznie nawet w strefach o niedużych miąższościach tych utworów. Na przykład, w otworze Książ Wielki IG-1 uzyskano samowypływ ok. 3,0 m³/h przy miąższości osadów retyku zaledwie 114,0 m (tab. 1, Jurkiewicz i in., 1991b).

Na obszarze niecki miechowskiej korzystne parametry zbiornikowe poziomu niższego pstręgo piaskowca również wiążą się ze strefami jego zwiększonej miąższości (otwory Milianów IG-1, Secemin IG-1, Pągów IG-1; ryc. 1, 3). Wyjątek stanowi strefa otworu Brzegi IG-1 (ryc.1), gdzie dobre właściwości zbiornikowe (tab. 1) stwierdzono przy miąższości zaledwie 82 m (Jurkiewicz i in., 1974c, 1976b, 1994, 1995).

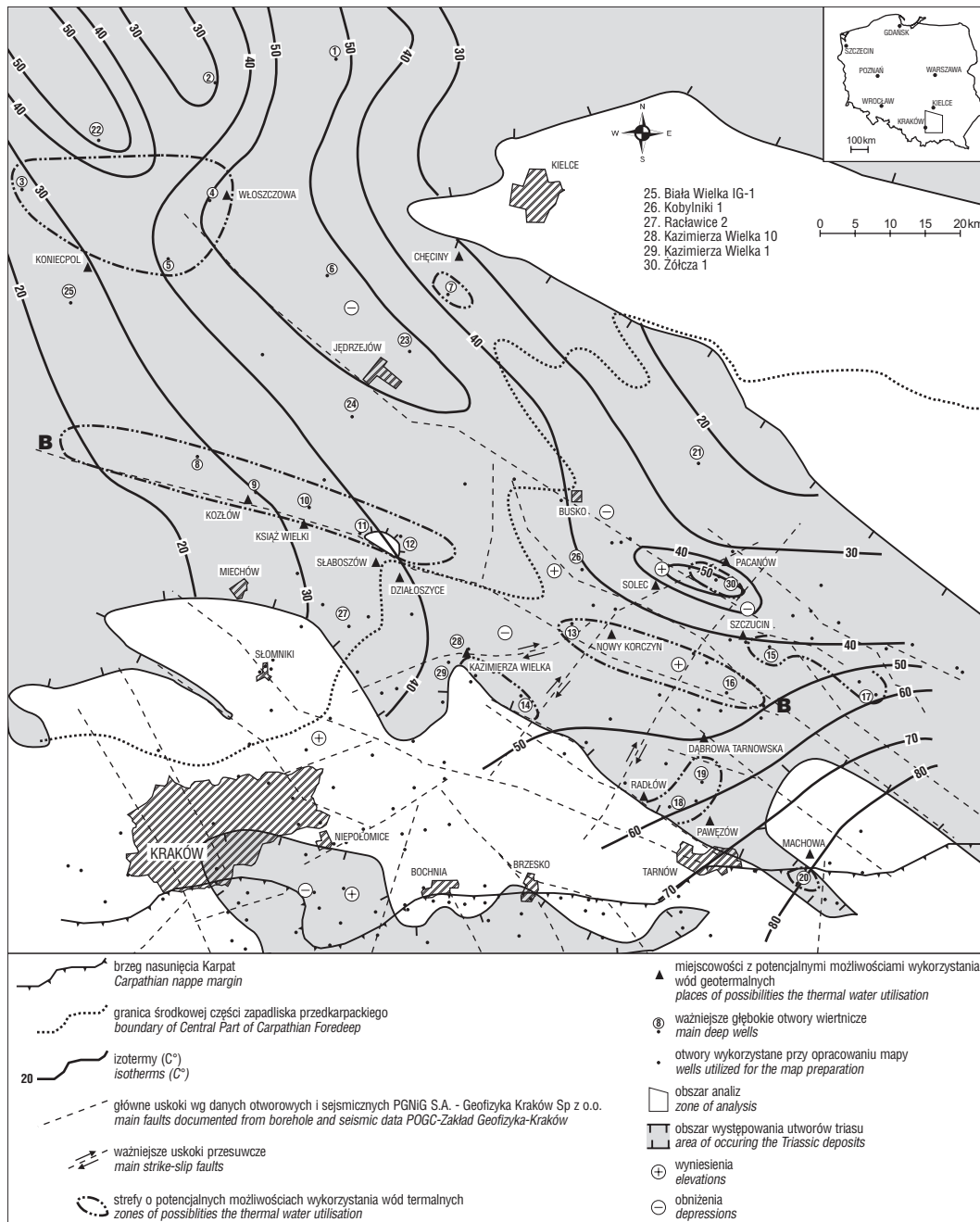
Na obszarze zapadliska przedkarpackiego utwory głównego poziomu wodonośnego — niższego pstręgo piaskowca, wykazują średnie porowatości efektywne mieszczące się najczęściej w zakresie od 2,0 do 15% (maksymalnie 22%, otwór Podborze 10, tab. 1) i średnie przepuszczalności rzędu kilkudziesięciu mldarcy (maksymalnie kilkaset mD stwierdzone w otworach Swarzędz 9 i Podborze 10; Oszczytko, 1981). Największe wydajności samowypływów z tego poziomu wynoszące ok. 10 m³/h notowano w otworach Dobiesławice 1 i Pawezów 3 (tab. 1; ryc. 1).

W odizolowanej, południowej strefie przykarpackiej (ryc. 1) pomimo dużych miąższości utworów pstręgo piaskowca przekraczających na S od Brzeska 600 m, przykładowo wynoszące ok. 0,5 m³/h stwierdzono jedynie otworem Jadow-

Tab. 1. Wybrane parametry hydrogeotermalne wód i utworów triasu na obszarze niecki miechowskiej i obszarach przyległych (na podstawie danych PIG, PGNiG S.A., oraz prac Oszczycki, 1981; Picha, 1978 i analiz własnych)
 Table 1. Selected hydrothermal parameters of Triassic deposits and waters of The Miechów Trough and neighboring areas (based on data collected by/obtained from Polish Geological Institute, POGC, works of Oszczycki, 1981; Pich, 1978 and own analyses)

Nr otworu wg ryc.1 No of well (see Fig.1)	Nazwa otworu Name of well	Poziom stratygraficzny i opróbowany interwał (m p.p.t.) Stratigraphy and tested interval (m b.s)	Temp. wód Water temperature (°C)	Wielkość przyływu Capacity (m ³ /h)	Mineralizacja Mineralisation (g/l)	Parametry zbiornikowe Reservoir parameters		Moc*** termiczna otworu Thermic power of well*** (MW)
						porowatość średnia average porosity (%)	przepuszczalność średnia average permeability (mD)	
1	Radwanów IG-1	pstry piaskowiec Buntsandstein 1346-1354	52	1,09	90,0	4,0	18,0	0,060
2	Boża Wola IG-1	retyk <i>Rhaetion</i> 1096-1102	31	5,6	1,9	11,3	28,3	0,170
3	Milianów IG-1	retyk (1020-1030)	34	1,1*	2,0	16,0	2,0	0,080
		kajper <i>keuper</i> (1324-1333)	44	1,0*	54,0	10,0	18,0	
		wapień muszlowy <i>shell limestone</i> (1412-1480)	46	0,51*	92,0	23,0	340,0	
4	Włoszczowa IG-1	retyk 1738-1740	50**	0,06*	12,0	7,8	23,3	0,003
5	Secemin IG-1	retyk 1480-1487	43**	1,0*	21,4	9,3	275,0	0,040
6	Węgleszyn IG-1	retyk 2000-2015	55**	4,0	110,0	2,7	10,8	0,230
7	Brzegi IG-1	retyk (955-965)	30	10,0	54,3	1,1	125,0	1,280
		kajper (1210-1225)	32	12,0	80,0	3,3	17,0	
		pstry piaskowiec (1530-1540)	43	15,4	73,0	16,0	300,0	
8	Węgrzynów IG-1	retyk 934-940	30	1,74*	1,36	8,0	27,0	0,050
9	Uniejów 3	retyk (899-985)	30**	0,1*	14,5	-	-	0,016
		wapień muszlowy (1001-1006)	32**	0,4*	10,3	-	-	
10	Książ Wielki IG-1	retyk (965-975)	31**	3,0*	26,0	2,0	-	0,169
		wapień muszlowy (1073-1092)	33**	2,4*	14,0	4,5	40,0	
11	Trzonów 2	wapień muszlowy (1153-1185)	38	(*)	6,4-11,7	-	-	0,015
		ret (1203-1225)	39	0,2*	10,9	-	-	
12	Lipówka 1	ret 1400	43**	9,0	13,0	-	-	0,397
13	Ostrów 1	kajper 1548-1560	44**	3,6*	~60,0	20,0 (max)	-	0,163
14	Dobiesławice 1	pstry piaskowiec 1617-1800	45**	~10,0*	40,0	15,0 (max)	-	0,464
15	Zalesie 1	pstry piaskowiec 1353	40**	(*)	~100,0	-	-	-
16	Smęgorzów 3a	ret 1535-1545	47**	(*)	~100,0	~2,0	-	-
17	Podborze 10	pstry piaskowiec 2220-2230	60**	(*)	~130,0	22,0	~300,0	-
18	Radłów 1	pstry piaskowiec 2193-2240	60**	(*)	~100,0	3,5	-	-
19	Pawężów 3	pstry piaskowiec**** 1927-1980	55	10,0	~120,0	15,0	51,0	0,580
20	Pogórska Wola 8	pstry piaskowiec 2885-2910	80**	Solanka do powierzchni <i>saline up to surface</i>	177,0	-	-	-
21	Żerniki 1	kajper? 500	25	?	108,0	-	-	-

*samowypływy (*free-outflow*); **temperatury oszacowane (*estimated temperatures*); ***założone schłodzenie do +5°C (*assumed cooling to +5°C*); ****łącznie z malmem i doggerem (*jointly with Upper and Middle Jurassic*)



Ryc. 4. Mapa temperatur wód w poziomach triasu
 Fig. 4. Temperature map of waters in Triassic horizons

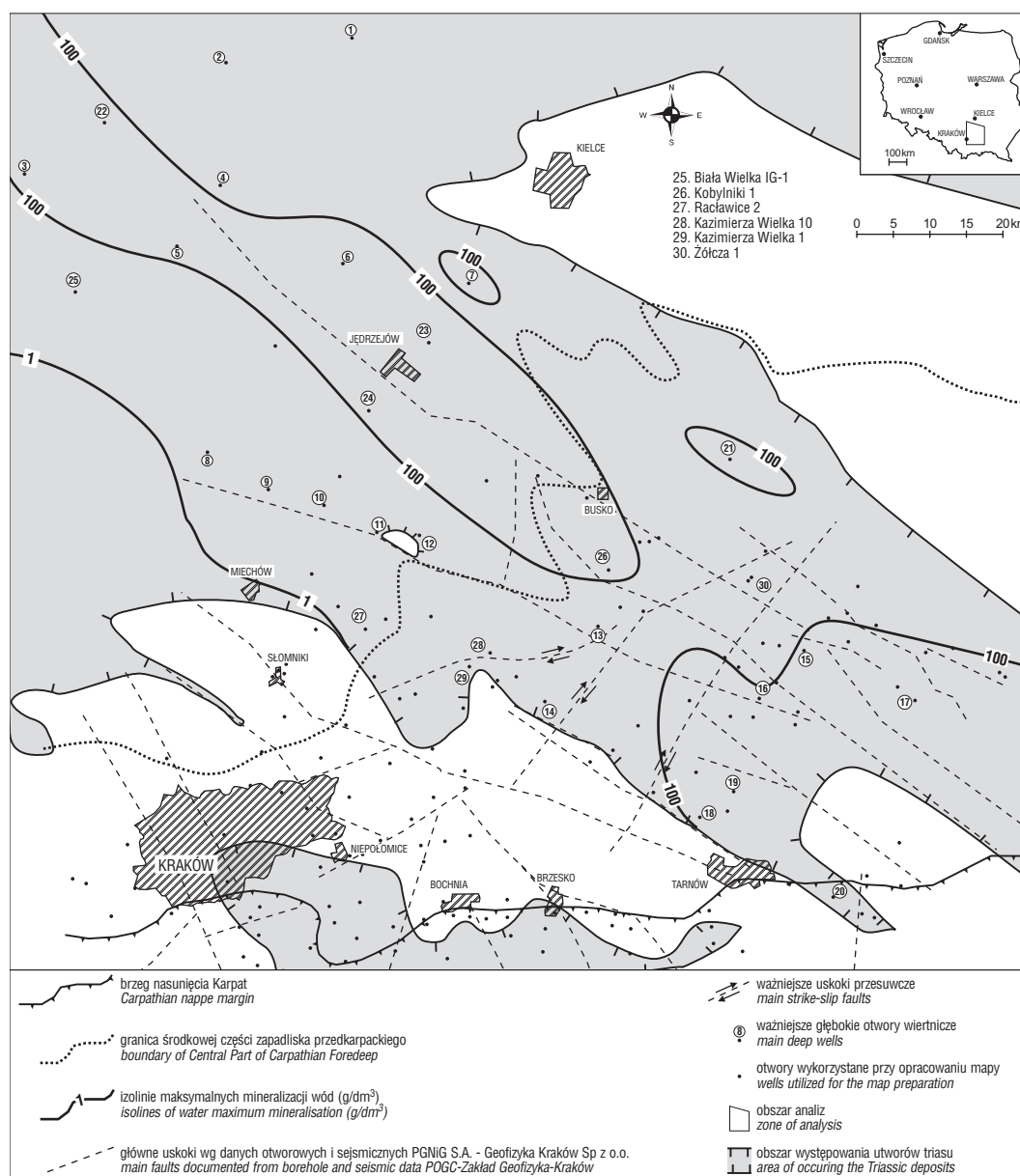
niki 5 (3 km na S od Brzeska). Strefę tę, jak i sąsiednią leżącą od niej na SW (rejon Myślenic; ryc. 1) należy uznać za strefy o niekorzystnych parametrach zbiornikowych.

Na obszarze niecki miechowskiej utwory głównego poziomu wodonośnego — retyku, wykazują średnie porowatości efektywne od 1,1 do 16,0% (tab. 1) oraz średnie przepuszczalności od 2,0 do 275,0 mD (maksymalnie 471,0 mD, otwór Secemin IG-1; ryc. 1). Wartości rzędu kilku, kilkunastu mD odnoszą się do serii ilasto-mułowcowych, a powyżej 50 mD do serii piaskowcowych (Jurkiewicz i in., 1973–1999). Z poziomu tego w wielu otworach obserwowano samowypływy o wydajności od 0,06 m³/h (Włoszczowa IG-1) do 3,0 m³/h (Książ Wielki IG1).

Niekorzystne parametry zbiornikowe na całym analizowanym obszarze wykazuje marglisty poziom retu i można go uznać za warstwę nieprzepuszczalną, izolującą poszczególne poziomy w obrębie piętra triasu lub za

spągowe uszczelnienie zbiornika triasowego tam, gdzie starsze utwory triasu nie występują. Jedyne lokalnie, w strefach silnych zaburzeń tektonicznych utwory te wykazują korzystne parametry zbiornikowe związane przypuszczalnie ze wzrostem ich szczelinowości (otwory: Trzonów 2, Lipówka 1, Smęgorzów 3a; tab. 1, ryc. 1).

Poziom wapienia muszlowego na analizowanym obszarze charakteryzuje duża zmienność parametrów zbiornikowych. W strefie NW niecki miechowskiej porowatości efektywne utworów tego poziomu osiągają wartości do 23% (powszechne tutaj zeszcelinowanie utworów wapienia muszlowego), a przepuszczalności do 340,0 mD (np. otwór Milianów IG-1, tab.1). Jednocześnie, w bezpośrednim sąsiedztwie występują strefy o skrajnie niekorzystnych parametrach zbiornikowych z porowatymi poniżej 1,0% i brakiem przepuszczalności (np. otwór Biała Wielka IG-1, Brzegi IG-1, Radwanów IG-1, Jaronowice



Ryc. 5. Mapa mineralizacji wód zbiornika triasowego
Fig. 5. Map of Triassic reservoir water mineralisation

IG-1, Jędrzejów IG-1; Jurkiewicz i in., 1976a, 1980, 1991a, 1995, 1999). Najlepsze parametry zbiornikowe utworów wapienia muszlowego (oprócz ww. rejonu otworu Milianów IG-1), występują wzdłuż linii otworów: Uniejów 3 — Książ Wielki IG-1 — Trzonów 2 (ryc. 1), gdzie ze spękanego i kawernistego poziomu wodonośnego uzyskiwano samowypływy wód o wydajności do 2,4 m³/h. Badania prowadzone przez Motykę i Wilka (1976) w rejonie Olkusza wykazały, że w interwale głębokościowym do ok. 250 m — twory węglanowe wapienia muszlowego i retu wykazują bardzo szeroki zakres wartości współczynników filtracji od $1,6 \cdot 10^{-7}$ m/s do $1,4 \cdot 10^{-2}$ m/s, ze średnią $6,5 \cdot 10^{-5}$ m/s oraz, że na wartość współczynników filtracji węglanowych skał triasu oprócz charakteru litologii, znaczący wpływ ma stopień ich spękania oraz rozwój form krasowych.

Na obszarze zapadliska przedkarpackiego nie stwierdzono samowypływów z utworów wapienia muszlowego jednak utwory te łącznie z utworami retu są niekiedy zawadnione, co obserwowano w otworach: Podborze 10 i

Smęgorzów 3a (tab. 1) oraz w otworach w rejonie Kazimierzy Wielkiej, Buska i Dąbrowy Tarnowskiej (ryc. 4). Porowatość efektywna tych utworów (1,0–3,0%) świadczy jednak o ograniczonych możliwościach uzyskania znaczących wydajności z tego poziomu (wyjątek mogą stanowić te strefy gdzie utwory wapienia muszlowego reprezentują stropowe partie piętra triasowego i uległy przedjurajskiemu procesowi wietrzenia i erozji; Oszczytko, 1981).

Utwory kajpru na analizowanym obszarze mają przeważnie niekorzystne właściwości zbiornikowe i często stanowią warstwę nieprzepuszczalną, rozdzielającą wyżej i niżej leżące poziomy zbiornikowe (np. poziom retyku od poziomu wapienia muszlowego). Na obszarze niecki miechowskiej średnie porowatości efektywne tych utworów wynoszą około 4%, a średnia przepuszczalność — 15 mD. Szczególnie niekorzystne parametry zbiornikowe mają stropowe utwory kajpru, natomiast utwory dolnej części profilu mogą wykazywać lokalnie parametry bardzo dobre (strefy otworów Milianów IG-1 i Brzesko IG-1, tab. 1, Jur-

kiewicz i in., 1974, 1995). Na obszarze zapadliska przedkarpackiego jedynie w otworze Ostrów 1 (tab.1) zaobserwowano samowypływ solanki (tab.1), choć zawodnienie tych utworów stwierdzano również i w innych otworach (np. otwór Słupiec 1, k/Dąbrowy Tarnowskiej).

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-mułwcowej często stanowią jego stropowe uszczelnienie jednak brak tych serii może powodować, iż wraz z poziomami liasu i/lub doggeru zbiornik triasowy tworzyć może wspólny system wodonośny (jak np., w rejonie otworów Secemin IG-1 i Pagów IG-1; Jurkiewicz i in., 1976b, 1994).

Na obszarze zapadliska przedkarpackiego rolę stropowego uszczelnienia zbiornika triasowego spełniają głównie nieprzepuszczalne utwory kajpru, a przy ich braku margliste osady keloweju lub oksfordu. Jednak w strefach występowania piaszczystych utworów doggeru zbiornik triasowy i doggerski również tutaj mogą tworzyć wspólny system wodonośny.

Przypuszczalnie lepsze uszczelnienie (ekranowanie) zbiornik posiada w partiach spągowych. Na obszarze niecki miechowskiej tworzą je ilaste utwory pstręgo piaskowca, przy ich braku margliste utwory retu, utwory paleozoiku lub sporadycznie prekambriu. Na obszarze zapadliska przedkarpackiego rolę tę spełniają marglisto-ilaste utwory karbonu dolnego i/lub dewonu.

Na analizowanym obszarze wyraźnie zaznacza się regionalna strefa o szczególnie korzystnych parametrach zbiornikowych biegnąca z rejonu powierzchniowych wychodni triasu na obszarze monokliny śląsko-krakowskiej w kierunku Dąbrowy Tarnowskiej i przypuszczalnie dalej pod Karpatami w kierunku SE (dyslokacja B-B, ryc. 2, 3). Przebieg tej strefy pokrywa się nie tylko z trendem korzystnych parametrów zbiornikowych niemal we wszystkich poziomach zbiornikowych triasu, ale również z trendem występowania zjawisk samowypływów (tab.1, ryc. 3). Przykładowo, w strefie pomiędzy otworami Uniejów 3 — Lipówka 1 (ryc. 3), samowypływy wód uzyskiwano z utworów retyku, wapienia muszlowego oraz retu, a w otworze Trzonów 2 również z utworów doggeru i malmu. Nie jest wykluczone, że również dyslokacja pomiędzy otworami Dobiesławice 1 a Pogórska Wola 8 (ryc.1) jest związana ze strefą korzystnych warunków zbiornikowych w utworach pstręgo piaskowca.

Krażenie i wymiana wód

Zbiornik triasowy na tym obszarze charakteryzuje się warunkami naporowymi (tab. 1) 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. Kotlicki (1962) sugeruje, że oprócz infiltracji opadów atmosferycznych źródłem zasilania tych poziomów jest przenikanie wód rzecznych w podłoże, szczególnie tam, gdzie rzeki przełamują się przez krawędzie struktur triasowych. Zasilanie zbiornika ma również miejsce z obszaru SW 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.

Ciśnienia złożowe w zbiorniku triasowym na tym obszarze mieszczą się w granicach od 9,7 MPa (otwór Brzezi IG-1; Jurkiewicz i in., 1995), do około 32,68 MPa (otwór Pogórska Wola 8).

W celu oceny warunków krążenia i wymiany wód przeprowadzono analizę rozkładu ciśnień złożowych i gęstości płynów złożowych, przy założeniu, że zbiornik triasowy pomimo znacznego zróżnicowania w profilu pionowym posiada ciągłe rozprzestrzenienie i jest izolowany w części stropowej przez ilasto-mułwcowe serie retyku (niecka miechowska) lub kajpru i keloweju (zapadlisko przedkarpackie), a w części spągowej przez nieprzepuszczalne utwory paleozoiku. Analizę warunków krążenia i wymiany wód przeprowadzono w pozakarpackiej strefie zbiornika na podstawie rozkładu ciśnień złożowych, zredukowanych do najgłębszego interwału opróbowania triasowego piętra wodonośnego (tu: -2640 m n.p.m., otwór Pogórska Wola 8, ryc. 1), według algorytmu Szczepańskiego (1990). Rozkład ciśnień zredukowanych wskazuje, że największe ciśnienia zredukowane panują w NW strefie obszaru w rejonie powierzchniowych wychodni utworów triasu na monoklinie śląsko-krakowskiej, i że jest to jednocześnie główny obszar zasilania tej części zbiornika triasowego (ryc. 3). Potwierdza się również szczególny charakter dyslokacji B-B stanowiącej prawdopodobnie główną regionalną strefę drenażu wód w kierunku SE. Zasilanie zbiornika ma również miejsce od strony SW obrzeżenia Gór Świętokrzyskich, gdzie utwory triasu mają swoje wychodnie powierzchniowe i podczwartorzędowe. Zaznaczają się również wyraźnie przepływy w kierunku NW od strony Karpat, podobne do identyfikowanych w obrębie pola hydrodynamicznego zbiornika górnokarpackiego (Barbacki, 2002). Pochodzenie tych przepływów można tłumaczyć zasileniem zbiornika przez wyżej leżące poziomy zbiornikowe jury lub kredy i/lub stwierdzonym przez Oszczykę (1981) ruchem elizyjnym wód z utworów mioceńskich do utworów mezozoicznych. W ogólnym obrazie rozptyłu wód zaznacza się strefa Jędrzejów-Boża Wola (otwory nr 24, 4, 2; ryc. 3), gdzie w „górnym” odcinku osi niecki układ izopiez wskazuje na ograniczony ruch wód (zanik poziomego gradientu ciśnienia). Wyraźnie zaznacza się również regionalna strefa spływu wód związana z „uskokiem Wisły” (ryc. 3) stanowiąca przypuszczalnie główną bazę drenażu tej części zbiornika.

Warunki termiczne wód i skał zbiornika triasowego

Dane odnośnie temperatur wód i utworów triasowych zaczerpnięto z prac publikowanych (Jurkiewicz i in., 1973-1999; Plewa, 1994; Moryc, 1970a, b, 1976), z materiałów PGNiG S.A. oraz szacowano na podstawie własnych analiz.

Temperatury stropowej części utworów triasu odpowiadają w przybliżeniu temperaturom utworów doggeru (Barbacki i in., 2001), co wynika z niedużej miąższości utworów środkowojurajskich. Profilowanie temperatur w interwale piętra triasowego przeprowadzono m.in. w otworze Radwanów IG-1, Milianów IG-1, Węgrzynów IG-1 oraz Pagów IG-1 (otwory nr 1, 3, 8, 22; ryc. 4).

Mapa temperatur wód zbiornika triasowego została opracowana przy założeniu, iż w przypadku występowania kilku poziomów wodonośnych o różnych temperaturach wód jako reprezentatywną przyjmowano temperaturę wód poziomu o największej wydajności, natomiast w przypadku porównywalnych wydajności — temperaturę uśrednioną (ryc. 4). Najwyższą temperaturę utworów triasu wynoszącą 82°C stwierdzono w otworze Pagów IG-1 w spągowej części niższego pstręgo piaskowca na głębokość

2470 m, gdzie średni gradient geotermiczny dla całego interwału triasowego wynosi $3,16^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (Plewa, 1994). W otworze tym notowano przyipyły wód z poziomu pstręgo piaskowca o wartości $4,8\text{ m}^3/\text{h}$ z głębokości 2277 m o temperaturze ok. 76°C i z poziomu wapienia muszlowego o wartości $5,0\text{ m}^3/\text{h}$ z głębokości 2040 m o temperaturze ok. 70°C . W otworze Milianów IG-1 temperatury wód zbiornika triasowego zmieniały się od 34°C (retyk, głębokość 1025 m) do 51°C (niższy pstry piaskowiec, głębokość 1610 m) ze średnim gradientem geotermicznym wynoszącym $2,61^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ i maksymalnym $4,0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, stwierdzonym w utworach kajpru (Jurkiewicz i in., 1976c, 1974c). Na mapie temperatur (ryc. 4) dla otworu tego przyjęto średnią wartość temperatur wód wynoszącą 38°C (wody retyku i kajpru, tab. 1). Niski średni gradient geotermiczny w interwale piętra triasowego stwierdzono w otworze Boża Wola IG-1 ($2,0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$), Węgleszyn IG-1 ($2,0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$), Węgrzynów IG-1 ($1,97^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$).

Strefy dodatnich anomalii termicznych zaznaczają się w rejonie otworu Radwanów IG-1 (głębokość 1350 m, niższy pstry piaskowiec, temperatura 52°C , tab.1) oraz na SE od Buska, gdzie w otworze Żółcza 1 (nr 30; ryc. 4) w utworach triasu w interwale: 1456–1743 m (wapień muszlowy) stwierdzono temperatury odpowiednio od 60 do 72°C (średni gradient geotermiczny $3,9^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$; Plewa, 1994). Charakterystyczne przesunięcie ku SE izoterm w zachodniej strefie dyslokacji B-B (ryc. 4) potwierdza, iż jest to główna strefa dopływu chłodniejszych wód od strony powierzchniowych wychodni triasu w rejonie monokliny śląsko-krakowskiej.

Skąpe dane temperaturowe z obszaru zapadliska przedkarpacciego pozwalają wskazać jedynie orientacyjnie strefy o podwyższonym gradiencie geotermicznym. Do takich stref oprócz rejonu Żółczy należy strefa otworu Trzonów 2, w którym na głębokości 1170 m (wapień muszlowy) uzyskano samowypływ wody złożowej o temperaturze 38°C (tab.1). W otworze Pawężów 3 na głębokości 1960 m zmierzono temperaturę 55°C , co również świadczy o korzystnych warunkach geotermicznych tej strefy (tab.1). Średnie wartości gradientów geotermicznych do stropu utworów triasu w wyżej wymienionych otworach wynoszą: Pawężów 3 — $2,3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, Trzonów 2 — $2,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, Żółcza 1 — $3,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, Pogórska Wola 8 — $2,4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Rozkład izoterm na ryc. 4 wskazuje, że w SE obszarze zapadliska przedkarpacciego regionalny trend wzrostu temperatur wód jest związany głównie ze wzrostem głębokości występowania kompleksu triasowego w kierunku SE.

Mineralizacja wód zbiornika triasowego

Podczas badań prowadzonych przez Oszczypkę (1981) i Picha (1978) na obszarze zapadliska przedkarpacciego stwierdzono, iż zakres zmienności mineralizacji ogólnej wód poziomów triasowych w analizowanym interwale głębokościowym od 950 do 2855 m wynosi od $0,6\text{ g/l}$ (otwór Raclawice 2, ryc. 5) do $177,0\text{ g/l}$ (otwór Pogórska Wola 8; ryc. 1) oraz, że wody słodkie występują dopiero na NW od Miechowa (ryc. 5).

Jurkiewicz (1973–1999), analizując dane z obszaru niecki miechowskiej stwierdził maksymalną mineralizację wód z poziomów triasowych w otworze Pągów IG-1, gdzie na głębokości 2040 m (wapień muszlowy) wynosiła ona $226,0\text{ g/l}$, a na głębokości 2277 m (niższy pstry piaskowiec) — 235 g/l . Najniższą mineralizację $1,36\text{ g/l}$ na tym obszarze wykazywały wody wypływające z otworu

Węgrzynów IG-1 z głębokości 940 m (retyk, tab. 1). Stwierdzono również sporadyczne występowanie zjawiska inwersji mineralizacji z głębokością zaobserwowane m.in. w otworach Brzegi IG-1, Uniejów 3, Książ Wielki IG-1 i Trzonów 2 (tab.1).

Rozkład mineralizacji ogólnej na ryc. 5, został przedstawiony orientacyjnie, jedynie na podstawie maksymalnej wartości mineralizacji, stwierdzonej w danym otworze. Wynika stąd, że wody słodkie w całym profilu piętra triasowego występują w skrajnej, zachodniej części analizowanego obszaru na NW od Miechowa. Na wschód od tego obszaru wody słodkie występują jedynie w płytszych poziomach zbiornika (np. w otworze Raclawice 2, gdzie mineralizacja zmienia się z głębokością od $0,6$ do $9,3\text{ g/l}$, ryc. 5).

Wody występujące w utworach triasu niecki miechowskiej według klasyfikacji Sulina, to głównie wody typu Cl-Na, natomiast wody typu $\text{SO}_4\text{-Na}$ (otwory: Książ Wielki IG-1, Milianów IG-1, Węgrzynów IG-1) oraz $\text{HCO}_3\text{-Na}$ (otwór Boża Wola IG-1) — występują sporadycznie (Jurkiewicz i in., 1973–1999). Charakterystyczną cechą wód triasowych jest znaczna zawartość bromu (do 538 mg/l w otworze Brzegi IG-1) i jodu, co jest interesujące z punktu widzenia balneologii.

Na wschód od Buska (otwór Żerniki 1, ryc. 1) w utworach triasowych również występują termalne solanki jodkowo-bromkowe (Pich, 1978), podobnie zresztą jak na pozostałej części zapadliska przedkarpacciego. Na obszarze zapadliska przedkarpacciego jest powszechne zjawisko stałego wzrostu mineralizacji ogólnej wód triasowych wraz z głębokością. Podobnie, wraz z głębokością zmienia się skład chemiczny wód: zmniejsza się zawartość jonów siarczanowych na korzyść chlorkowych, wzrasta udział jonów wapnia i częściowo magnezu, a zmniejsza się udział sodu (Pich, 1978).

Potencjalne możliwości wykorzystania wód zbiornika triasowego

Na przydatność danego obszaru dla zagospodarowania energii geotermalnej ma wpływ nie tylko możliwa do uzyskania moc cieplna, ale również temperatura wód złożowych. W tym kontekście przedstawione w tab.1 wartości mocy termicznej dla poszczególnych otworów są jedynie wskaźnikami potencjału cieplnego tej strefy. Na przykład otwór Węgleszyn IG-1 z wodami o wydajności $4,0\text{ m}^3/\text{h}$ i temperaturze 55°C (moc termiczna 232 KW) może być bardziej interesujący, aniżeli otwór Brzegi IG-1 z wodami o wydajności $37\text{ m}^3/\text{h}$ i temperaturze 35°C (moc termiczna $1,3\text{ MW}$), gdyż wodę o temperaturze 55°C można wykorzystać bezpośrednio (bez użycia pomp ciepła). Z drugiej jednak strony bezpośrednie wykorzystanie wód geotermalnych, w którym wodę schładza się zwykle do ok. 20°C ogranicza pełne wykorzystanie potencjalnej mocy termicznej.

W aspekcie możliwości wykorzystania wód geotermalnych na analizowanym obszarze szczególnie interesująco przedstawia się rejon Książa Wielkiego (ryc. 4), gdzie mają miejsce samowypływy wód zawierających brom i jod, istnieje potencjalny odbiorca energii, a rzeczywiste moce i wydajności poziomów triasowych przypuszczalnie znacznie przekraczają orientacyjne wartości przedstawione w tab. 1. Dotyczy to również rejonu Kozłowa (strefa otworu Uniejów 3), Działoszyc (strefa otworu Lipówka 1) i Słaboszowa (strefa otworu Trzonów 2).

Zestawienie tabelaryczne wskazuje, że na obecnym etapie rozpoznania jedynie strefa Pogórskiej Woli (tab.1) stwarza możliwości bezpośredniego wykorzystania wód triasowych dla celów ciepłowniczych bez dodatkowego wspomaganie cieplnego. W strefach Podborza i Radłowa

wody o temperaturach około 60°C również stwarzają takie możliwości, lecz w przypadku zmodernizowanych systemów grzewczych. Dla temperatur w zakresie 40–60°C (np. rejon Włoszczowej) wykorzystanie wód do celów grzewczych jest możliwe przy użyciu absorpcyjnych pomp ciepła, natomiast bezpośrednio wody te mogą być wykorzystane do produkcji ciepłej wody użytkowej, w basenach kąpielowych, w balneologii, ogrodnictwie i hodowli ryb. Wody o temperaturach 20–40°C (np. rejon Książa Wielkiego) można wykorzystywać bezpośrednio w rekreacji, balneologii i rolnictwie, a jednocześnie w systemach sprężarkowych pomp ciepła w celach grzewczych.

Przedstawione na ryc. 4 strefy o potencjalnych możliwościach wykorzystania energii geotermalnej obejmują rejony takich miejscowości, jak: strefa północna — Włoszczowa, Koniecpol, Chęciny; strefa centralna — Kozłów, Książ Wielki, Słaboszów, Busko, Solec, Pacanów; strefa południowa — Kazimierza Wielka, Nowy Korczyn, Szczucin, Dąbrowa Tarnowska, Radłów, Pawęzów i Machowa.

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

W uzupełnieniu należy dodać, że poza obszarem analiz w kierunku NW, już na obszarze monokliny śląsko-krakowskiej i częściowo przedsudeckiej utworu triasu wykazują bardzo korzystne parametry zbiornikowe, gdzie obok zbiornika górnej jury stanowią główne zbiorniki wód podziemnych. Znaczne wydajności wód przekraczające 200 m³/h uzyskiwane są m.in. w rejonie Myszkowa i Kalet, jednak niewielkie głębokości ujęć (do 200 m) umożliwiają osiągnięcie temperatur nie wyższych niż ok. 13°C. Znacznie korzystniejsze warunki występują w rejonie Lublińca, gdzie z utworów wapienia muszlowego zalegającego na głębokości ponad 400 m wydajności wód dochodzą do 200 m³/h, a ich temperatury wynoszą 17°C.

Literatura

- BARBACKI A. P. & KAZANOWSKA A. 2001 — Środkowo-jurajska formacja geotermalna centralnej części zapadliska przedkarpacciego i obszarów przyległych. *Prz. Geol.*, 49: 894–900.
- BARBACKI A. P. 2002 — Geotermalny basen górnej jury centralnej części zapadliska przedkarpacciego i południowo-wschodniej części niecki miechowskiej — budowa geologiczna i warunki hydrogeotermalne. *Prz. Geol.*, 50: 773–782.
- DECZKOWSKI Z. & FRANCIK M. 1988 — Paleomiąższość, litofacje i paleotektonika noryku i retyku na Niżu Polskim. *Kwart. Geol.*, 32: 93–103.
- DLUGOSZ P. 2001 — Projekt wykorzystania ciepła geotermalnego do celów ciepłowniczych na Podhalu — stan obecny i dalsze plany. IV seminarium „Rola energii geotermalnej w zrównoważonym rozwoju regionów”, Bukowina Tatrzańska: 179–196.
- GAJEWSKA I. 1988 — Paleomiąższość, litofacje i paleotektonika wapienia muszlowego, kajpru dolnego i kajpru górnego na Niżu Polski. *Kwart. Geol.*, 32: 73–92.
- GŁOWACKI E., HORN E., WARDEGA A. & ŻUREK K. 1971 — Katalog Wierceń Górnictwa Naftowego w Polsce w latach 1945–1970, Niecka Miechowska. T. 2, cz. 2.
- IWANOW A. 1998 — Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce (pod red. R. Dadleza, S. Marka & J. Pokorskiego). Państw. Inst. Geol.: 11–28.
- JAWOR E. 1970 — Węglona budowa geologiczna na wschód od Krakowa. *Acta Geol. Pol.*, 20: 709–762.
- JURKIEWICZ H. & MASZOŃSKA D. & SZCZERBA A. & WOJŃSKI J. 1973 — Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Węgrzynów IG–1. z. 7. Instytut Geologiczny.
- JURKIEWICZ H. 1974a — Rozwój triasu na obszarze centralnej części Niecki Nidziańskiej. *Kwart. Geol.*, 18: 90–108.
- JURKIEWICZ H. & MASZOŃSKA D. & WOJŃSKI J. 1974b — Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Węgleśzyn IG–1. z. 19. Instytut Geologiczny.
- JURKIEWICZ H. & KANIA Z. & MASZOŃSKA D. & SZCZERBA A. 1974c — Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Milianów IG–1. z. 21. Instytut Geologiczny.
- 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. CAG.
- JURKIEWICZ H. & SZCZERBA A. 1976c — Wyniki badań termicznych centralnej części niecki miechowskiej i przyległego obszaru Gór Świętokrzyskich. *Biul. Instyt. Geol.*, 296, T. 12: 129–161.
- 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 Państwowego 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-CIOPINSKA 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.
- KOPIK J. 1973 — Budowa Geologiczna Polski, T. 1, Stratygrafia cz. 2, Mezozoik–Trias: 15–118.
- KOTLIŃSKI S. 1962 — Problemy hydrogeologiczne triasu regionu śląsko-krakowskiego. *Kwart. Geol.*, 6: 605–620.
- MORYC W. 1970a — Katalog Wierceń Górnictwa Naftowego — Geonafta, t. I, cz. 3.
- MORYC W. 1970b — Katalog Wierceń Górnictwa Naftowego — Geonafta, t. I, cz. 4.
- MORYC W. 1971 — Trias przedgórze Karpat środkowych. *Rocz. Polskiego Tow. Geol.*, z. 3: 419–484.
- MORYC W. 1976 — Katalog Wierceń Górnictwa Naftowego — Geonafta, t. I, cz. 5.
- MOTYKA J. & WILK Z. 1976 — Pionowe zróżnicowanie wodopruszczalności węglanowych skał triasowych w świetle statystycznej analizy wyników próbnych pompowań (monoklina śląsko-krakowska). *Kwart. Geol.*, 20: 381–400.
- OSZCZYPKO N. 1981 — Wpływ neogeńskiej przebudowy przedgórze Karpat na warunki hydrodynamiczne i hydrochemiczne zapadliska przedkarpacciego. *Biul. Inst. Geol.*, 325: 5–87.
- PICH J. 1978 — Chemizm wód podziemnych w środkowej części zapadliska przedkarpacciego. *Biul. Inst. Geol.*, 312: 129–190.
- PLEWA S. 1994 — Rozkład parametrów geotermalnych na obszarze Polski. Wydawnictwo CPPGSMiE, PAN, Kraków: 1–138.
- SENKOWICZOWA H. 1959 — Środkowy trias na obszarze zapadliska przedkarpacciego. *Kwart. Geol.*, 3: 57–70.
- SENKOWICZOWA H. 1965 — Podział i rozwój facjalny osadów retu na obszarze południowej Polski. *Kwart. Geol.*, 9: 241–260.
- SENKOWICZOWA H. 1973 — Budowa Geologiczna Polski, T. 1, Stratygrafia cz. 2, Mezozoik–Trias: 15–118.
- SOKOŁOWSKI J. 1985 — Warunki występowania wód termalnych w niecce podhalańskiej. Konferencja pt. „Ocena możliwości eksploatacji wód termalnych w niecce podhalańskiej” Zakopane: 25–46, Wydawnictwo AGH, Kraków.
- STEMULAK J. & JAWOR E. 1963 — Węglona budowa geologiczna przedgórze Karpat na obszarze na zachód od Dunajca i Wisły. *Kwart. Geol.*, 7: 169–184.
- SZCZEPAŃSKI A. 1990 — Atlas wód geotermalnych Niżu Polskiego (objaśnienia tekstowe), praca zbiorowa pod red. Górecki W., ISE, AGH, Kraków: 123–134.
- SZYPERKO-TELLER A. & MORYC W. 1988 — Rozwój basenu sedimentacyjnego pstręgo piaskowca na obszarze Polski. *Kwart. Geol.*, 32: 53–72.