



Wiesław BUJAKOWSKI*, Antoni BARBACKI**

Triasowy zbiornik wód termalnych w północnej strefie Tarnowa – parametry hydrogeotermalne i perspektywy wykorzystania

Streszczenie: W artykule przedstawiono studium dotyczące możliwości wykorzystania energii geotermalnej w obszarze znajdującym się na obszarze zapadliska przedkarpackiego w rejonie Tarnowa. Podano informację na temat budowy geologicznej analizowanej strefy oraz dokonano charakterystyki triasowego zbiornika wód termalnych, najbardziej interesującego w tym rejonie. Analiza została wykonana na podstawie parametrów hydrogeotermalnych (temperatura, mineralizacja, porowatość, przepuszczalność, wydajność), które uzyskano z otworów geologicznych i naftowych zlokalizowanych w strefie miasta oraz na terenach przyległych. W wyniku analizy oszacowano potencjalne zasoby energetyczne. Wykazano, że najlepsze perspektywy dla rozwoju geotermii w analizowanym obszarze stwarza wykorzystanie tego zbiornika głównie w aspekcie balneorekreacji.

Słowa kluczowe: geotermia, zapadlisko przedkarpackie, Tarnów, trias

Triassic reservoir of thermal waters in the northern zone of Tarnów – hydrogeothermal parameters and perspectives of use

Abstract: This work is a study on the possibility of using geothermal energy in the area of the Carpathian Foredeep in the Northern area of Tarnów. The information presents the geological structure of the analyzed area along with the characteristics of the Triassic thermal water reservoir, the most interesting in the region. The analysis was conducted on the basis of hydrogeothermal parameters (temperature, mineralization, porosity, permeability, efficiency), which were obtained from the geological and petroleum wells located in the zone of the city and adjacent areas. The analysis estimated potential energy resources. It was pointed out that the best prospects for the development of geothermal energy in the analyzed reservoir makes use in terms of balneo-recreation.

Keywords: geothermal, Carpathian Foredeep, Tarnów, Triassic

* Dr inż., ** Dr hab. inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;
e-mail: buwi@min-pan.krakow.pl, barbacki@min-pan.krakow.pl

1. Warunki złożowe północnej strefy Tarnowa

Analiza wód złożowych, w tym zwłaszcza ocena wydajności przypiływów, rodzaju, właściwości i mineralizacji, dokonana została na podstawie wyników geologiczno-złożowych poszczególnych odwiertów.

Temperatury pomierzone w kilku odwiertach tego rejonu zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Parametry termiczne otworów geologicznych w rejonie tarnowskim (wg dokumentacji wyników otworów wiertniczych PGNiG)

TABLE 1. Thermal parameters of geological boreholes in the area of Tarnów

Lp.	Nazwa otworu	Głębokość końcowa [m]	Głębokość pomiaru temperatury [m]	Temperatura [°C]	Stratygrafia
1.	Bobrowniki-1	1 900	1 150	53	miocen
			1 900	58	jura górna
2.	Bogumiłowice-4	1 608	1 265	40	kreda górna – senon
			1 568	55	jura górna
3.	Bogumiłowice-5	1 603	1 290	46	kreda górna – senon
			1 600	51	jura górna
4.	Łętowice-18	1 615	1 390	43	miocen
			1 600	46	jura górna
5.	Łętowice-19	1 600	1 200	45	kreda górna – senon
			1 540	53	jura górna
			1 597	56	jura górna
6.	Łętowice-20	2 299	1 100	42	kreda górna – senon
			1 867	59	jura górna
			2 298	60	neoproterozoik
7.	Radłów-1	3 006,6	2 992	90	trias dolny
10.	Wierzchosławice-16	1 904	1 100	36	kreda górna – senon
			1 647	53	jura górna
			1 904	59	jura górna

Analizy wód złożowych uzyskanych w trakcie opróbowania utworów triasu wskazują na typ chlorkowo-wapniowy z wysoką mineralizacją, szczególnie dla utworów pstrego piaskowca, gdzie mineralizacja wynosi od 145,01 do 172,53 g/dm³ (Radłów-1). Mineralizacja wód w utworach jurajskich, podobnych typem genetycznym, wykazuje szersze zróżnicowanie w przedziale od 86,43–172,97 g/dm³. Wartość mineralizacji dla utworów dewonu wynosi od 173,41 do 193,2 g/dm³ (Radłów-5), jednak wydajności przypiływu są bardzo niskie i nie przekraczają 1 m³/h.

Najbardziej interesujące wyniki uzyskano w otworze Radłów-1 w utworach pstrego piaskowca. W otworze tym, w interwale 2001–3006,6 m, stwierdzono serię utworów klastycznych triasu dolnego, pstrego piaskowca, posiadających dobre właściwości zbiornikowe, zwłaszcza w interwałach: 2190–2255, 2500–2625 m. Po wykonaniu perforacji w interwałach: 2193–2210 i 2221–2226 m uzyskano przyplwy wody złożowej, z czego w pierwszym interwale stwierdzono samowypływ o wydajności 2,5 m³/h. Z kolei po perforacjach w interwałach: 2500–2520 oraz 2520–2534 m uzyskano przyplwy wody złożowej o niestabilnych wydajnościach i poziomach statycznych lustra wody odpowiednio w głębokościach 68 i 80 m p.p.t. Orientacyjny zakres temperatur tego interwału to 60–75°C. W odwiercie tym w trakcie końcowych pomiarów geofizycznych wykonano pomiar temperatury w warunkach niestabilizowanych w głębokości 2992 m uzyskując wartość 90°C (bez stwierdzenia wód).

Istnieje również możliwość uzyskania przyplwów wód złożowych z płytszych zakresów głębokości z utworów węglanowych jury górnej jednak z dużo niższymi temperaturami wód złożowych (interwał jurajski to około 1200–1900 m p.p.t., interwał temperatur 35–55°C).

2. Budowa geologiczna obszaru

Do uformowania dzisiejszego obrazu strukturalnego obszaru doszło w miocenie w wyniku silnego oddziaływania zjawisk tektonicznych, związanych z nasuwaniem się od południa mas fliszowych Karpat Zewnętrznych oraz tworzeniem się zapadliska przedkarpackiego (rys. 1). Sieć dyslokacji ograniczających poszczególne bloki tektoniczne, widoczne w obrazie strukturalnym mezo-paleozoiku, była wielokrotnie odmładzana.

Prekambr

Powierzchnia stropowa utworów prekambru posiada charakter powierzchni erozyjnej, a rozpoznane w otworach skały to najczęściej silnie zdiagenezowane i przeobrażone w niewielkim stopniu procesami metamorfizmu regionalnego utwory klastyczne – fyllity i metaargility. Utwory te wykazują duże zaangażowanie tektoniczne przy dość znacznych upadach warstw, dochodzących nawet do 60–70°. Utwory neoproterozoiku nawiercone zostały jedynie w kilku otworach, tj. Radłów-5, Łętowice-20, Waryś-5 i Niwki-3.

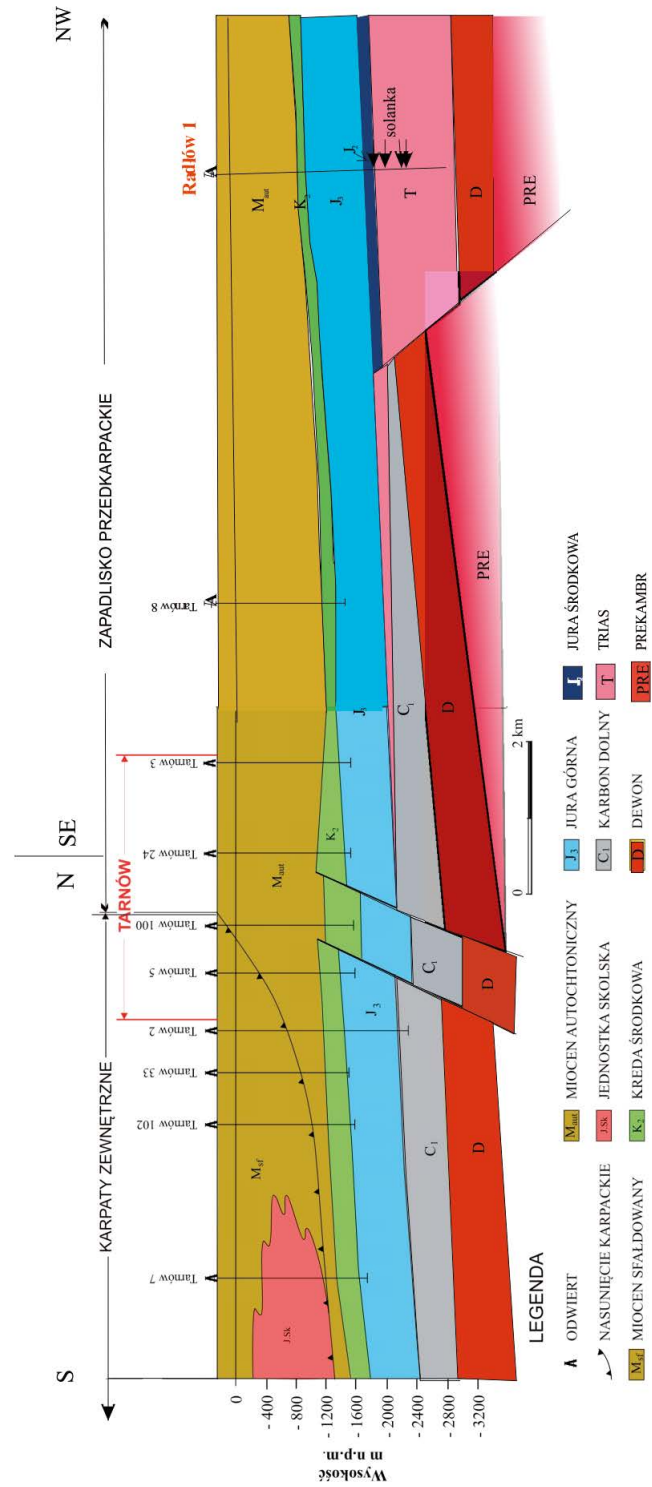
Paleozoik

Utwory paleozoiku w omawianym rejonie są słabo rozpoznane wiertniczo. Większość otworów kończyła wiercenie w utworach kredy lub jury górnej, a pojedyncze w utworach pstrego piaskowca. Najbliższe odwierty, w których rozpoznano pełen profil utworów paleozoiku to Radłów-5, Łętowice-20, Waryś-5 i Niwki-3. Ponadto wyższą część profilu serii węglanowej karbonu nawiercono w otworach Wierzchosławice-1 i Biadoliny-9.

Występowanie utworów ordowiku, udokumentowanych faunistycznie, stwierdzone zostało jedynie w kilku odwiertach usytuowanych na północ i północny-wschód od obszaru projektowanych prac, tj. Niwki-3, Mędrzechów-1, Lubasz-2 oraz Zalesie-1.

Ponad utworami ordowiku w profilu paleozoiku zalegają utwory syluru, rozpoznane w otworach Niwki-3, Lubasz-2, Mędrzechów-1 oraz Zawada-8K. Wykształcone są one najczęściej w postaci łupków ilastych, ciemnoszarych i szarozielonkawych, z fauną graptolii-

C-D



Rys. 1. Regionalny przekrój geologiczny C-D strefy tarnowskiej (lokalizacja przekroju na rys. 3)

Fig. 1. Regional geological section C-D of the Tarnów region (location on fig. 3)

ową oraz wkładkami wapieni i margli. Ich miąższość w profilu odwiertu Mędrzechów-1 wynosi 264 m (wenlok + ludlow) (Moryc 1996).

W dewonie dolnym rozwinięte są ilasto-piaszczyste osady lądowe facji old red. Utwory te rozpoznano w otworach: Radłów-5, Łętowice-20, Waryś-5, Niwki-3. Utwory te zalegają z wyraźną niezgodnością kątową na utworach starszego paleozoiku lub neoproterozoiku, a ich miąższości są zróżnicowane (najczęściej od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów) i lokalnie dochodzą do 150,5 m (w odwiercie Radłów-5). Kompleks utworów węglanowych dewonu środkowego i górnego, reprezentowany jest on na ogół przez ciemne (brunatne, ciemnoszare, rzadziej różowawe) wapienie dolomityczne i dolomity. W omawianym rejonie utwory dewonu węglanowego rozpoznano w otworach: Radłów-5, Łętowice-20 oraz Niwki-3.

Utwory karbonu dolnego na obszarze przedgórza występują na znacznym obszarze, a w omawianej strefie rozwinięte są głównie w facji wapienia węglowego (Moryc 1996, 2006a). W profilu tego kompleksu przeważają wapienie i dolomity.

Utworów karbonu górnego w omawianym rejonie nie stwierdzono.

Mezozoik

W rejonie analiz rozpoznano różne ogniwa triasu, jury i kredy.

Utwory triasu rozpoczyna kompleks dolnego i środkowego pstrego piaskowca. Pstry piaskowiec dolny i środkowy rozwinięty jest w postaci serii utworów klastycznych, ilasto-piaszczystych, a lokalnie również zlepieńcowatych. Ich miąższość jest dosyć zróżnicowana, dochodząc w otworze Radłów-1 do 80 m. Utwory pstrego piaskowca górnego (retu) nie występują w obszarze omawianej strefy, gdyż uległy prawdopodobnie erozji (Moryc 2014).

W odwiercie Radłów-1 nawiercona miąższość utworów pstrego piaskowca wynosi 1005,6 m, przy czym otwór nie dowiercił do ich spągu. Maksymalne miąższości pstrego piaskowca dochodzą nawet do 1800 m. Można przypuszczać, że spągowa partia tych utworów może należeć do permu (Moryc 1971, 2006b).

Utwory wapienia muszlowego stwierdzono jedynie w rejonie Pawężowa. W profilu tej serii dominują szare wapienie krystaliczne i gruzłowe. Miąższość tej serii, przewierconej odwiertem Pawężów-5, wynosi 102 m. Klastycznej serii górnego triasu w obszarze analiz nie stwierdzono.

Profil jurajski na obszarze środkowej części przedgórza Karpat rozpoczynają utwory jury środkowej. W całym profilu utworów dominują osady klastyczne, jedynie z niewielkimi przeławieniami marglistymi w górnym bajosie i batonie (Moryc i Ratajska 1983). Są to szare piaskowce z licznymi fragmentami uwęglonej flory. Sumaryczna miąższość utworów jury środkowej w omawianej strefie wynosi od kilkunastu do 30 m (Pawężów-5).

Węglanowy kompleks utworów jury górnej, składający się z utworów od oksfordu po tyton, tworzy zwartą pokrywę na obszarze przedgórza Karpat, zalegając na utworach jury środkowej lub pstrego piaskowca, a miejscami bezpośrednio na różnych ogniwach paleozoiku lub neoproterozoiku. Profil jury górnej w opisywanym rejonie rozpoczyna stosunkowo jednolity litologicznie kompleks mikrytowych osadów wapienno-marglistych, określane jako seria gąbkowo-globuligerinowa (Gutowski i in. 2007). Wyżej w profilu utworów jury górnej występuje silnie zróżnicowana facjalnie i litologicznie seria osadów wapiennych, dolomitycznych i marglistych o bardzo dużej miąższości. Sedymentację utworów jury kończy seria muszłowcowo-oolitowa dolna, reprezentowana przez płytkowodne osady węglanowe, w tym charakterystyczne wapienie oolitowe, onkolitowe i muszłowce.

Kreda górna łącznie z albem górnym i paleocenem dolnym reprezentuje jeden wielki cykl rozwojowy zbiornika sedimentacyjnego, zaczynający się transgresją w albie środkowym i kończący się zamknięciem basenu we wczesnym paleocenie (Krassowska 1997). W profilu występuje charakterystyczna seria wapieni pelitycznych turonu z bułami i soczewkami czarnych krzemieni oraz jasnoszarych wapieni marglistych. Miąższość utworów turonu jest zróżnicowana w granicach od kilku do kilkudziesięciu metrów.

Kompleks senonu obejmuje utwory, które osadzały się w dużym przedziale czasowym: od koniaku po mastrycht. Jest to monotonna pod względem litologiczno-facjalnym seria osadów węglanowych, takich jak: margle, wapienie margliste i gezy. W rejonie analiz miąższość utworów turonu i senonu jest dosyć zróżnicowana dochodząc do 385 m w otworze Wierzchosławice-16.

Keozoik

Sedymentacja neogeńska wkraczała na ten obszar równocześnie z ruchami alpejskimi wypełniając obniżenia i rowy, w ten sposób stopniowo doprowadzając do wyrównania powierzchni.

Kompleks utworów miocenu autochtonicznego podzielić można na trzy zasadnicze jednostki litostratygraficzne: serię klastyczną badenu dolnego, serię ewaporatową badenu górnego oraz serię klastyczną badenu górnego i sarmatu. Utwory serii podewaporatowej badenu dolnego reprezentowane są głównie przez pakiet skał ilastych i mułowców o miąższości rzędu od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów. Kompleks wyższy stanowi seria ewaporatowa, w obrębie której dominują siarczany (głównie anhydryty), często silnie zailone. Utwory serii ewaporatowej odnoszony jest do badenu górnego (Dudziak i Łaptaś 1991; Gaździcka 1994; Peryt i in. 2005). Utwory badenu górnego występujące powyżej serii ewaporatowej to urozmaicony litologicznie kompleks skał klastycznych iłowców, mułowców, z przeławiczeniami piaskowców, natomiast w profilu sarmatu dominują serie piaskowcowo-mułowcowe z przeławiczeniami iłowców.

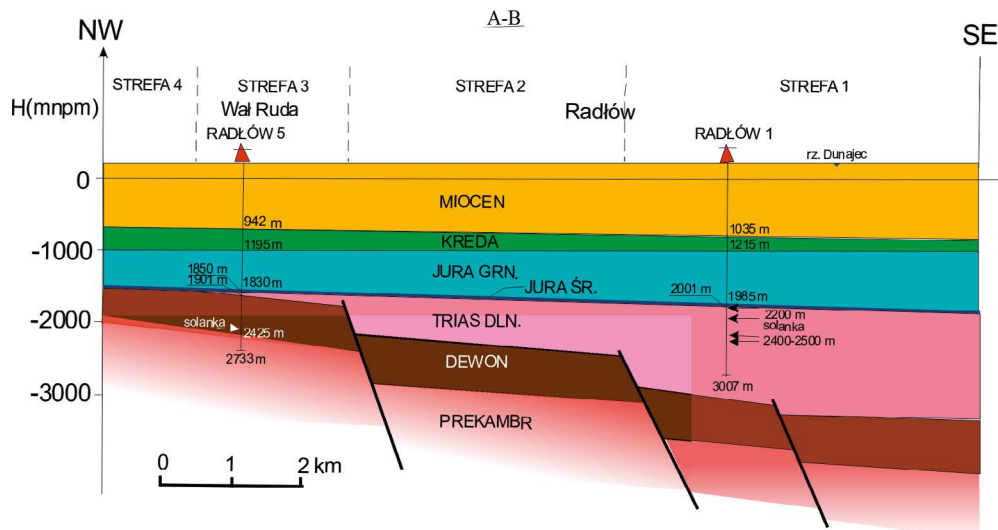
Miąższość utworów neogenu w analizowanej strefie jest bardzo zróżnicowana. Największe miąższości zanotowano w południowej części obszaru (1169 m w Wierzchosławicach-7), natomiast najmniejsze w NW części omawianej strefy (624 m w otworze Przybysławice-1).

Najmłodszym ogniwem stratygraficznym są utwory czwartorzędu tworzące luźną pokrywę o niewielkiej miąższości rzędu kilkunastu metrów. Są to utwory zwietrzelinowe podłoża, terasy rzeczne, pozostałości polodowcowe, wykształcone najczęściej w postaci glin zwietrzelinowych, piasków i żwirów.

3. Skały zbiornikowe obszaru badań

W obszarze analiz za najbardziej perspektywiczne pod kątem nasycenia wodami złożowymi o wysokich temperaturach uznano utwory triasu dolnego (pstry piaskowiec dolny + + środkowy) oraz jury górnej i środkowej.

Głównymi skałami zbiornikowymi w obrębie profilu klastycznych utworów triasu dolnego i jury środkowej są serie słabo scementowanych piaskowców, rzadziej warstwy mułowców. Natomiast w profilu utworów węglanowych górnej jury skałami zbiornikowymi są najczęściej wapienie lub dolomity, zazwyczaj o silnym stopniu zeszczelinowania (rys. 2).



Rys. 2. Triasowy zbiornik geotermalny na przekroju geologicznym A-B przechodzącym przez północną strefę Tarnowa (linia przekroju na rys. 3)

Fig. 2. Triassic geothermal reservoir presented on the A-B geological section passing through the Northern zone of Tarnów1 (section line on fig. 3)

Utwory jury górnej ze względu na rozwój litologiczny wykazują zauważalną trójdzielność.

W wyższej części profilu występują skały wapienne, sporadycznie wapienie margliste i margle. Wapienie zasadniczo posiadają porowatość rzędu 3,2–8,5% oraz nieznaczną przepuszczalność. Serie takie przewiercono otworami Radłów-1 i Radłów-4 (Łęg Tarnowski). Wapienie i wapienie dolomityczne, zalegające w otworze Radłów-4 na głębokości 1251–1257 m wykazują porowatość rzędu 8–16,3%, natomiast wapienie z otworu Radłów-1 z głębokości 1233–1246 m osiągają porowatość rzędu 18,7–19,9% i przepuszczalność 6 mD. Utwory te opróbowano przez perforację w otworze Radłów-4 w interwale 1240–1250 m uzyskując przyływ solanki o wydajności 0,2 m³/h.

Środkowa część profilu jury górnej charakteryzuje się zwiększonym udziałem frakcji ilastej i reprezentowana jest przez słabo zwięzłe margle i wapienie margliste, sporadycznie wapienie. Utwory te wykazują na ogół niewielkie porowatości rzędu 1–7%, brak przepuszczalności i tym samym bardzo słabe właściwości zbiornikowe.

W dolnej części profilu jury górnej występują na ogół zwięzłe wapienie, wapienie margliste oraz dolomity.

Wapienie posiadają zazwyczaj porowatość rzędu 3% (maksymalnie do 7%) oraz niewielką przepuszczalność. Utwory te opróbowano w otworze Biadoliny-9 uzyskując jedynie niewielkie przykławy solanki. Zdecydowanie korzystniejsze właściwości zbiornikowe posiadają serie zdolomityzowane np. w otworze Bobrowniki-1. Według analiz laboratoryjnych posiadają one porowatość do 14,11% i przepuszczalność do 19,99 mD. Według badań laboratoryjnych węglany z głębokości rzędu 1500–1600 m charakteryzują się wysoką porowatością (do 11,3%) i przepuszczalnością do (23 mD), gdzie stwierdzano dopływy wody złożowej o wydajności około 12 m³/h.

Jura środkowa została przewiercona otworami Pawężów-5 i Radłów-1. W jej profilu dominują osady piaszczyste o znacznej porowatości rzędu 13% oraz dobrej przepuszczalności. W otworze Radłów-1 piaskowce jury środkowej opróbowano przez perforację w interwale 1981–2004 m i uzyskano przyływ solanki o wydajności 2,5 m³/h.

Trias dolny pod względem litologicznym podzielić można na dwie części: pstry piaskowiec górny (ret) oraz pstry piaskowiec środkowy + dolny.

Pstry piaskowiec środkowy + dolny rozpoznano dwoma otworami: Radłów-1 i Pawężów-5, usytuowanymi w strefie ich zwiększonych miąższości. Poziom ten reprezentowany jest przez mułowce, piaskowce i zlepienie.

W profilu otworu Pawężów-5 wyróżniają się liczne cienkie wkładki piaskowców o dobrych właściwościach zbiornikowych. Według badań laboratoryjnych piaskowce z gł. 2376–2381 m wykazują porowatość rzędu 9,5–13,4% oraz przepuszczalność 157 mD.

Piaskowce występujące w stropowej partii profilu, w gł. 2123,3–2128,3 m, posiadają porowatość 14–19%, przy przepuszczalności do 444,1 mD. Według badań laboratoryjnych piaskowce z gł. 2201–2214 m wykazują porowatość rzędu 12–20%, natomiast przepuszczalność rzędu 17–527 mD. W profilu otworu Radłów-1 w gł. 2385–2475 m występuje seria zwięzłych zlepieńców, o znikomej porowatości. Utwory te charakteryzują się bardzo słabymi właściwościami zbiornikowymi. Poniżej serii zlepieńcowatej występuje kolejny kompleks piaszczysty o miąższości około 120 m. Utwory te posiadają bardzo korzystne właściwości zbiornikowe (próbka pobrana z gł. 2587–2592 m posiada porowatość 22,6% i przepuszczalność 984 mD).

W otworze Radłów-1 przez perforację opróbowane zostały interwały: 2193–2210, 2221–2226, 2380–2425, 2500–2520, 2520–2534 m. Wszystkie opróbowania dały w wyniku przyływy solanek, niekiedy o dużych wydajnościach.

4. Hydrogeologiczna charakterystyka jakości wód

Wody wypełniające utwory triasowe nie zostały dobrze rozpoznane, ponieważ wykonano tylko 3 analizy w otworze Radłów-1, przy czym opróbowano interwały: 2380,0–2425,0 m, 2500,0–2534,0 m. Mineralizacja wynosi 71,4 i 172,53 g/dm³. W wodzie o mineralizacji 71,4 g/dm³ występują znacznie obniżone zawartości jonów Cl⁻, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺ oraz Fe²⁺ co może być wynikiem niewłaściwego sposobu pobrania próby. Pozostałe dwie analizy wskazują na obniżanie się mineralizacji solanek wraz z głębokością z 172,53 g/dm³ do 145,01 g/dm³. Typ genetyczny wód wg klasyfikacji Sulina to typ chlorkowo-wapniowy. Analizy wykazały podwyższone stężenia jodu od 7 do 9 mg/dm³, nie stwierdzono obecności bromu. Wskaźnik sodowo-chlorkowy rNa⁺/rCl⁻ przyjmuje wartości od 0,715 do 0,720, co przy obniżonej wartości wskaźnika siarczanowości (rSO₄²⁻ × 100)/rCl⁻ < 1 charakteryzuje silnie zmetamorfizowane wody reliktowe dobrze i długo (w sensie geologicznym) izolowane od powierzchni ziemi.

W analizowanym obszarze najlepiej rozpoznano wody wypełniające utwory jury. Większość analiz obejmuje utwory jury górnej, a dwie dotyczą utworów jury środkowej w otworze Pawężów-2 (interwał: 2000,0–2210,0 m) (Łęg Tarnowski, ok. 4 km na E od otworu Radłów-1). Mineralizacja ogólna solanek jurajskich jest bardzo zmienna, waha się w zakresie 86,43 g/dm³ do 172,97 g/dm³ i nie jest związana ze wzrostem głębokości interwałów

opróbowania. W otworze Pawężów-2 w interwale 1244,0–1251,0 m stwierdzono mineralizację wody 33,08 g/dm³. Zasadniczo wzdłuż osi Wierzchosławice w kierunku na Łęg Tarnowski rysuje się strefa wysokich mineralizacji, znacznie przekraczających 100 g/dm³. Typ genetyczny wód wg klasyfikacji Sulina jest jednolity: chlorkowo-wapniowy. Analizy wykazały podwyższoną zawartość jodu od 7 do 41 mg/dm³, a niektóre także jonu bromu, najwięcej w ilości 397 mg/dm³. Wartości wskaźnika sodowo-chlorkowego r_{Na^+/rCl^-} zawierają się w przedziale od 0,570 do 0,896, co przy równie zmiennych wartościach wskaźnika siarczanowego od 0,643 do 3,210, wskazuje na zróżnicowane warunki hydrogeologiczne występowania wód. Mimo iż solanki jurajskie są wysokozmineralizowanymi wodami reliktowymi cechującymi się zróżnicowanym stopniem zmetamorfizowania, to zbiornik nie jest szczelny i lokalnie następuje znaczne wysładzanie poprzez dopływ wód z wyższych poziomów.

Szacowane średnie stężenie ważniejszych składników wód w strefie kontaktu jura-trias wg danych z otworu Pawężów-2 przedstawiają się następująco:

- NaCl – 120 g/l (wg przyjmowanych norm – własności lecznicze powyżej 1g/l),
- J – 20 g/l (własności lecznicze powyżej 0,001 g/l),
- SO₄ – 1 g/l (własności lecznicze powyżej 0,25 g/l),
- Ca – 8 g/l (własności lecznicze powyżej 0,15 g/l),
- Mg – 1,3 g/l (własności lecznicze powyżej 0,05 g/l).

Podsumowując powyższe zestawienia, należy stwierdzić, że zarówno wody jurajskie jak i wody triasowe wykazują walory lecznicze głównie ze względu na obecność jonów jodu i jonów siarczanowych. W aspekcie wykorzystania wód w balneoterapii (kąpiele, inhalacje, kuracje pitne) istotna jest również wysoka zawartość jonów magnezu, wapnia oraz sodu.

5. Ocena zasobów geotermalnych

Przeprowadzone analizy wskazują, że perspektywiczne zbiorniki występowania wód termalnych w rejonie analiz tworzą głównie utwory triasu (pstręgo piaskowca) i drugorzędnie, jury środkowej i górnej.

Warunki hydrogeologiczne panujące w pstrym piaskowcu nie są jednak wystarczająco rozpoznane. Na podstawie wykonanych analiz wód z otworu Radłów-1, można spodziewać się solanek o mineralizacji znacznie przekraczającej 100 g/dm³, typu chlorkowo-wapniowego (wg klasyfikacji Sulina) oraz największych wydajności wód do 50 m³/h z temperaturami do 70°C.

Wody jurajskie rozpoznane zostały dotychczas w lepszym stopniu niż triasowe. Przeprowadzona analiza wskazuje na występowanie raczej kilku horyzontów wodonośnych w obrębie kompleksu jury górnej. Wspólną cechą solanek jurajskich w tym rejonie jest ich typ chlorkowo-wapniowy i mineralizacja powyżej 100 g/dm³. Wydajności wód mogą być zbliżone do wydajności wód triasowych, lecz temperatury średnie będą rzędu 45°C.

Jedynie horyzont jury środkowej stanowiący stropową część zbiornika triasowego może zawierać wody o temperaturach około 60°C.

Jednoznaczne określenie charakteru hydrochemicznego wód z poziomu pstręgo piaskowca czy jury nie jest jednak możliwe ze względu na brak wyczerpujących informacji bezpośrednio z rejonu analiz.

Zbiornik jurajski wykazuje dość jednolite parametry miąższościowe, natomiast zbiornik triasowy – najbardziej interesujący dla potencjalnego wykorzystania – ze względu na drastyczne zmiany swojej miąższości, wykazuje silną strefowość występowania korzystnych warunków geotermalnych.

Na rysunku 3 pokazano analizowany obszar w formie mapy miąższościowej zbiornika triasowego. Strefy o maksymalnych miąższościach są najbardziej perspektywiczne na co wykazują znaczne przyipyływy wód termalnych w otworze Radłów-1, gdzie miąższość triasu przekracza 1000 m. W obrębie strefy oznaczonej izopachytą 1000 m występuje najmniejsze ryzyko geologiczne a więc jest ona optymalna dla prowadzenia tu inwestycji geotermalnych.

Ponieważ przedstawione dane wskazują, że główne zasoby energii geotermalnej tego obszaru związane są głównie z wodami triasu i jury środkowej, do oceny zasobów energetycznych tych zbiorników przyjęto parametry wód w strefie najbardziej korzystnej gdzie:

- wydajność: jura środkowa – 50 m³/h, trias – 50 m³/h,
- temperatura: jura środkowa – 60°C, trias – 70°C.

Teoretyczne moce geotermiczne możliwe do uzyskania w warunkach eksploatacji z wymienionych poziomów i przy założonym schłodzeniu do 11°C (~temperatura wód powierzchniowych) byłyby następujące:

- jura – 2,9 MW,
- trias – 3,5 MW.

Są to moce potencjalne, gdzie zakładany jest odbiór energii z obniżeniem poziomu temperatur do 11°C (jednak przy odbiorze energii do poziomu temperatur 25°C byłoby to odpowiednio: 2,1 MW i 2,7 MW).

Wnioski

Główny zbiornik wód termalnych na analizowanym obszarze to zbiornik triasowy o temperaturach wód około 70°C. Drugorzędny jest zbiornik jury środkowej – dogger (temperatury rzędu 60°C) i kolejny, jury górnej – oxford (temperatury rzędu 45°C).

Określenie rzeczywistych zasobów geotermalnych oraz wynikających stąd racjonalnych kierunków wykorzystania wód termalnych wymaga odwiercenia nowego otworu geotermalnego – najlepiej w strefie o maksymalnej miąższości triasu. Na obecnym etapie rozpoznania można jednak już stwierdzić, że optymalny sposób zagospodarowania występujących zasobów to przede wszystkim rekreacja.

Zarówno wody jurajskie, jak i wody triasowe wykazują również walory lecznicze – głównie ze względu na obecność jodu i jonów siarczanowych. Istnieje zatem możliwość wykorzystania tych wód w balneologii (kąpiele, inhalacje, kuracje pitne).

Parametry hydrogeologiczne występujących wód termalnych powinny umożliwić ich wykorzystanie również w takich kierunkach jak rolnictwo (szklarnie, tunele foliowe, podgrzewanie gleby), hodowla ryb ciepłolubnych czy suszarnie drewna.

Literatura

- Dudziak, J. i Łaptaś, A. 1991. Stratigraphic position of Miocene carbonate – siliciclastic deposits near Chmielnik (Świętokrzyskie Mountains Area, Central Poland) based on calcareous nannofossils. *Bull. Pol. Acad. Sci. Earth Sci.* 39(1), s. 55–56.
- Gaździcka, E. 1994. Nannoplankton stratigraphy of the Miocene deposits in Tarnobrzeg area (northeastern part of the Carpathian Foredeep). *Geological Quarterly* 38, s. 553–570.
- Gutowski i in. 2007 – Gutowski, J., Urbaniec, A., Złonkiewicz, Z., Bobrek, L., Świetlik, B. i Gliniak, P. 2007. Stratygrafia górnej jury i dolnej kredy środkowej części przedpola polskich Karpat, *Biuletyn PIG* 426, s. 1–26.
- Krassowska, A. 1997. Kreda górna (alb górny-mastrycht): Sedymentacja, paleogeografia i paleotektonika. *Prace PIG, Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce* 153, s. 386–397.
- Moryc, W. 2014. Perm i trias Przedgórze Karpat polskich. *Biuletyn PIG* 457, s. 43–68.
- Moryc, W. 1971. Trias przedgórze Karpat środkowych. *Rocznik PTG* 41(3), s. 419–486.
- Moryc, W. 1996. Budowa geologiczna podłoża miocenu w rejonie Pilzno–Dębica–Sędziszów Małopolski. *Nafta – Gaz* 52(12), s. 521–550.
- Moryc, W. 2006a. Budowa geologiczna podłoża miocenu w rejonie Kraków–Pilzno. Część I. Prekambr i paleozoik (bez permu). *Nafta – Gaz* 62(5), s. 197–216.
- Moryc, W. 2006b. Budowa geologiczna podłoża miocenu w rejonie Kraków–Pilzno. Część II. Perm i mezozoik. *Nafta – Gaz* 62(6), s. 263–282.
- Moryc, W. i Ratajska, E. 1983. *Opracowanie geologiczno-złożowe utworów doggeru w rejonie Wadowice–Rzeszów*. Kraków: Archiwum PGNiG SA.
- Peryt i in. 2005 – Peryt, T.M., Buła, Z., Hałas, S., Olszewska, B., Pluta, I. i Słodkowska, B. 2005. Non-marine evaporites in the Lower Miocene of Upper Silesia (Carpathian Foreland Basin, Poland). *Geologica Carpathica* 56(4), s. 327–336.