

Środkowojurajska formacja geotermalna centralnej części zapadliska przedkarpackiego i obszarów przyległych

Antoni P. Barbacki*, Agnieszka Kazanowska*

Middle Jurassic geothermal formation in central part of the Carpathian Foredeep and neighboring areas (southern Poland).
Prz. Geol., 49: 894–900.

S u m m a r y. This paper presents results of analyses of Middle Jurassic geothermal waters linked to a sandstone facies extending between Włoszczowa and Myślenice. The obtained results confirmed considerable zonation and local constraints of reservoir parameters resulting from a character of depositional environments. A relationship between the total thickness of Middle Jurassic formation and the reservoir parameters was noted. Moreover, a strong correlation between the degree of water mineralization and the distance of infiltration zone or depth of water occurrence was observed. The postulated westerly direction of water circulation corresponds to the mineralization and temperature patterns. In the western zones located close to the recharge areas, waters are fresh or nearly fresh and their temperatures are influenced by surface waters.

Key words: Middle Jurassic geothermal waters, geology and hydrogeology, reservoir parameters

W obrębie kompleksu jurajskiego centralnej części Przedgórze Karpat piaskowcowe utwory doggeru odznaczają się najlepszymi parametrami zbiornikowymi. Bezpośredni kontakt tych utworów ze spękanymi i skrasowiałymi utworami jury górnej stanowiący podstawową przeszkodę dla formowania złóż węglowodorów jest natomiast bardzo korzystny w aspekcie akumulacji wód termalnych migrujących ze stref bezpośredniego i pośredniego zasilania. Potwierdzają to liczne przypadki samowypływów wód doggerskich z głębokich otworów, obserwowane głównie w obszarach zwiększonych miąższości utworów. Znaczenie tego kompleksu dla geotermii obniża natomiast silna strefowość i lokalność parametrów zbiornikowych związana głównie ze złożonym charakterem ówczesnych środowisk sedymentacji. Objawia się to w postaci ostrych, poziomych granic litologicznych, nieregularnym przebiegiem stref zbiornikowych oraz złożoną relacją pomiędzy porowatością i przepuszczalnością. Niezależnie od tego, obok pierwszoplanowego na tym obszarze kompleksu cenomańskiego (Barbacki & Kazanowska, 2001; Jawor & Baran, 2001) kompleks jury środkowej może stanowić kolejny potencjalny kompleks geologiczny do geotermalnego wykorzystania.

Ze względu na zasięg zbiornikowych utworów jury środkowej analizie poddano nie tylko centralny obszar przedgórze Karpat fliszowych, ale również znaczny obszar niecki miechowskiej (po południowy zasięg liasowego zbiornika geotermalnego Nizżu Polskiego) oraz strefę brzeżną Karpat fliszowych, gdzie otwory wiertnicze potwierdziły występowanie zawodnionych utworów doggeru.

Kompleks wodonośny to głównie osady bajosu (kujawu) i batonu tworzące wspólny system hydrauliczny uszczelniony od góry nieprzepuszczalnymi węglanowymi osadami keloweju lub marglistymi osadami oxfordu. W części południowej i środkowej analizowanego obszaru w rejonie Krakowa, Myślenic, Bochni, Brzeska, Kazimierzy Wielkiej, Miechowa — również piaskowcowe osady górnego keloweju stanowią składową warstwę wodonośnej. Dolne uszczelnienie na obszarze niecki miechowskiej tworzą głównie nieprzepuszczalne osady triasu, a na obszarze Przedgórze Karpat i Karpat — triasu i paleozoiku. Zarówno osady oxfordu, triasu jak i paleozoiku

szczególnie w strefach dyslokacji oraz rozwoju facji porowatych mogą stanowić również źródło zasilania pośredniego. O wodach zakumulowanych w tych utworach świadczą bowiem niekiedy znaczne przyplawy wód do otworów wiertniczych (Moryc, 1976).

Występujące tu zasoby geotermalne należy zaliczyć do zasobów w utworach o silnej zmienności parametrów zbiornikowych, z wodami występującymi w warunkach artezyjskich lub subartezyjskich, oraz o niskiej mineralizacji wód (w strefie niecki miechowskiej) do wysokiej (w rejonie Brzeska). Prowadzone badania miały na celu rozpoznanie budowy piaszczystego kompleksu jury środkowej oraz parametrów geotermalnych i hydrogeologicznych zbiornika i występujących tutaj wód.

Tektonika, środowiska sedymentacji i litologia utworów jury środkowej

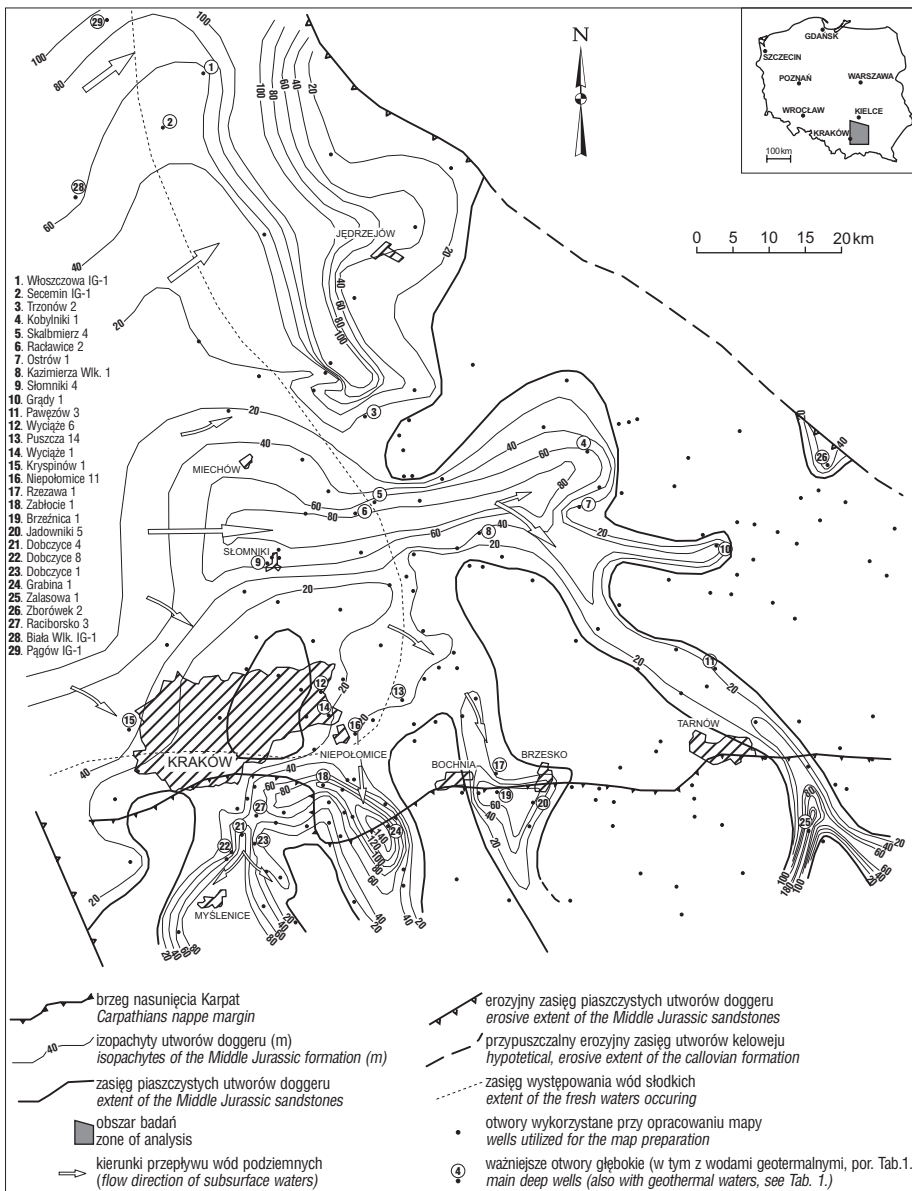
Ważniejsze prace związane z geologią i hydrogeologią zbiornikowego kompleksu jury środkowej były publikowane przez takich autorów jak: Jawor (1963, 1970), Moryc (1965, 1976, 1985, 1988), Dayczak-Calikowska (1973, 1988), Morycowa, Moryc (1976), Oszczytko, Tomasz (1978), Konior (1978), Feldman-Olszewska (1998).

Prace tych autorów wskazują, że osady doggeru reprezentują na analizowanym obszarze najstarsze osady jurajskie za wyjątkiem strefy północno-zachodniej (Secemin, Włoszczowa, Biała Wielka — ryc. 1) oraz zatoki gdowskiej, gdzie stwierdzono również osady liasu (Dayczak-Calikowska, 1973; Jawor, 1970).

W okresie jury dolnej obszar Przedgórze Karpat został wyraźnie podniesiony i był jednym z obszarów alimentacyjnych dostarczających materiału do liasowego zbiornika sedymentacyjnego znajdującego się na północy i północnym zachodzie (Morycowa & Moryc, 1976). Łąd ten zaznaczał się w ciągu całego doggeru nawet w okresie maksymalnego zasięgu transgresji środkowo-jurajskiej przypadającej na górny baton, kiedy morze utworzyło w tej części Przedgórze Karpat wiele mniejszych i większych wysp (Dayczak-Calikowska & Kopik, 1973).

Po raz pierwszy po przerwie trwającej od końca jury dolnej morze środkowojurajskie wkroczyło na S i NW część omawianego obszaru w bajosie górnym (kujaw) tworząc liczne zatoki wcinające się w głąb ładu: od południa w rejon Myślenic i Gdowa oraz od północy do linii Włoszczowa–Secemin–Biała Wielka (Dayczak-Calikowska & Moryc 1988; ryc. 1). Zarysował się wówczas również wąski zbiornik pomiędzy Miechowem a Buskiem o mie-

*Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Polska Akademia Nauk, ul. Wybickiego 730-950 Kraków 65, skr. poczt. 49



Ryc. 1. Miąższościowa mapa piaszczystych utworów doggeru — opracowano według danych BG—Geonafta Kraków, PIG i prac Jawora

Fig. 1. Isopach map of Middle Jurassic sandstone formation — based on data derived from BG—Geonafta Cracow, PGI and Jawor (1970)

szanych warunkach sedimentacji — początkowo lądowych (osady rzeczne) w okresie batonu przechodzących w jeziorne, a następnie morskie. Regionalny układ izopachyt piaszczystych utworów doggeru (ryc. 1) oraz stwierdzone w partiach spągowych występowanie osadów rzecznych i limnicznych wskazuje na to, że przed główną transgresją morską w górnym batonie na obszarze tym płynęły liczne rzeki, które łączyły istniejące tam jeziora. Impuls transgresywny, który nastąpił w późnym batonie utworzył szereg wysp i zatok z dominującą sedimentacją morskich osadów piaszczystych. Główne obszary alimentacyjne tej części basenu znajdowały się przypuszczalnie w rejonie sudeckim i poza SE granicami kraju (Feldman-Olszewska, 1998). Nie jest również wykluczone, że alimentacja materiału odbywała się również z kierunku południowego oraz z obszarów wyspowych.

Regresja przypadająca na najniższy kelowej spowodowała wycofanie morza ze środkowej części Przedgórze Karpat do granic brzozy środkowopolskiej i SW części niecki miechowskiej (Dayczak-Calikowska & Moryc,

1988). W okresie przerwy trwającej do kelowej wyższego obszar ten był wystawiony na działanie erozji i znacznie zrównany przed zasadniczą transgresją jurajską (Morycowa & Moryc, 1976), która rozpoczęła się w górnym kelowej. Wynika stąd, że zasięg piaszczystych facji batonu i bajosu (pod przykryciem utworów górnej jury) oddaje jedynie przybliżony zasięg sedimentacyjny tych utworów zredukowanych w okresie dolnokelowej erozji (ryc. 1).

Transgresja górnokelowej rozpoczynająca główną transgresję jurajską ponownie nie objęła wypiętrzenia Puszczy (rejon Bochni), wypiętrzenia Wyciąża (rejon Krakowa) oraz szerokiej strefy na SE od Kazimierzy Wielkiej (ryc. 1), gdzie brak jest tych osadów a ciągłość sedimentacji wyklucza erozję (Jawor, 1970). Obszary te stanowiły brzezną strefę dla postępującego morza tworząc niekiedy strome klifowe kontury na co wskazują osady typu brekcji i zlepieńców (Aleksandrowicz, 1955). Uważa się, że utwory kelowej górnego tworzyły się w morzu otwartym, spokojnym w strefie bliskiego szelfu (Morycowa & Moryc, 1976).

Utwory doggeru Przedgórze Karpat są reprezentowane na omawianym obszarze przez osady górnego bajosu (kujaw), batonu i górnego kelowej. Profil kujawu i batonu budują morskie i limniczne osady piaskowcowe i mułowcowo-ilaste (Feldman-Olszewska, 1998). Poziomy piaskowcowe są różnej miąższości, zróżnicowany jest też ich udział procentowy w poszczególnych przewierconych profilach. Z kolei utwory kelowej górnego w dolnej części są wykształcone w facji ilasto-piaszczysto-zlepieńcowej, a w górnej jako wapienie bulaste. We wschodniej części tego obszaru (rejon Dębica—Dąbrowa Tarnowska—Busko) utwory jury środkowej są reprezentowane głównie przez nieprzepuszczalne wapienie margliste kelowej, przy braku piaszczystych osadów batonu i kujawu (za wyjątkiem lokalnych stref Grąd i Zborówka; ryc. 1).

W omawianej części niecki miechowskiej najstarsze osady jury środkowej to osady kujawu występujące na NW od strefy Biała Wielka—Włoszczowa (ryc. 1). Reprezentują one piaski, mułowce i ilowce (Jurkiewicz, 1994) o miąższości ok. 20–70 m. Utwory batonu w tej części niecki miechowskiej to głównie mułowce, ilowce i łupki o miąższości od 20–40 m. Utwory kelowej to z kolei wapieniste piaskowce oraz wapienie i margle z warstwą bulastą w stropie (Dayczak & Calikowska, 1973).

Najpełniej rozwinięte utwory jury środkowej nawiercono w rejonie Gdowa otworem Liplas 2 (Jawor & Stemu-

Tab. 1. Wybrane parametry wód i piaszczystych utworów doggeru w otworach środkowej części zapadliska przedkarpackiego i obszarów przyległych (na podstawie danych PGNiG SA, PIG i analiz własnych)

Table 1. Selected hydrothermal parameters of Dogger sandy deposits in boreholes of central part of the Carpathian Foredeep and neighboring areas (based on data derived from PGNiG SA, Polish Geological Institute and own analyses)

Nr otworu według ryc. 1	Nazwa otworu	Interwał opróbowany (m p.p.t.)	Temperatury wód (°C)		Przyptywy wód (m ³ /h)	Mineralizacja (g/l)	Uwagi*
			zmierzone	oszacowane			
1	Włoszczowa IG-1	1613-1666	-	57	0,03	2,48	samowypływ n _{sr} 6,75; φ _{sr} 4,2
2	Secemin IG-1	1280-1329	-	33	1,2	1,3	samowypływ n _{sr} 7,4; φ _{sr} 54,8
3	Trzonów 2	1010-1015	35,5	-	3,6	19,0	samowypływ n _{sr} 4,8
4	Kobylniki 1	1342-1380	-	36	7,0	13,7	-
5	Skalbmierz 1	956-1035	-	35	20,0	niska	samowypływ n _{sr} 15,5; φ _{sr} 661
6	Raławice 1	850-920	-	30	~10,0	0,4	samowypływ n _{sr} 12,5; φ _{sr} 37,6
7	Ostrów 1	1491-1507	-	36	1,7	40,0	samowypływ n _{sr} 13,3; φ _{sr} 905,1
8	Kazimierza Wlk. 1	1360-1394	-	36	-	-	n _{sr} 13; φ _{sr} 131
9	Słomniki 4	457-520	23	-	~20,0	~1,0	n _{sr} 25; φ _{sr} 565
11	Pawężów 3	1950-1960	55	-	10,0	solanka	φ _{sr} 51
13	Puszcza 14	758-820	-	36	13,0	<1,0	samowypływ, woda słodka opróbowany z malmem i dewonem
15	Kryspinów 1	175-198	-	12	9,0	<1,0	samowypływ, woda słodka
16	Niepołomice 11	868-885	-	36	>3,0	<1,0	samowypływ dogger + dewon; woda słodka
17	Rzezawa 1	1578-1593	-	47	1,5	solanka	-
18	Zabłocie 1	1278-1388	-	35	1,5	68,0	n _{sr} 12,7; φ _{sr} 54
19	Brzeźnica 1	1780-1880	-	54	-	-	n _{sr} 6,4; φ _{sr} 143
20	Jadowniki 5	2051-2116	-	62	0,3	solanka	n _{sr} 6,2
21	Dobczyce 4	2050-2148	-	60	8,0	80,0	n _{sr} 11,6; φ _{sr} 262
22	Dobczyce 8	2260-2392	-	65	1,2	78,0	n _{sr} 6,3; φ _{sr} 4
23	Dobczyce 1	2075-2105	-	60	0,9	42,0	n _{sr} 3,3
27	Raciborsko 3	1827-1868	53	-	0,7	12,0	n _{sr} 10,3; φ _{sr} 3,1
28	Biała Wlk. IG-1	698-766	20	-	3,6	<1,0	samowypływ, woda słodka
29	Pągów IG-1	1370-1473	-	31	1,0	0,38	samowypływ, woda słodka n _{sr} 16; φ _{sr} 406

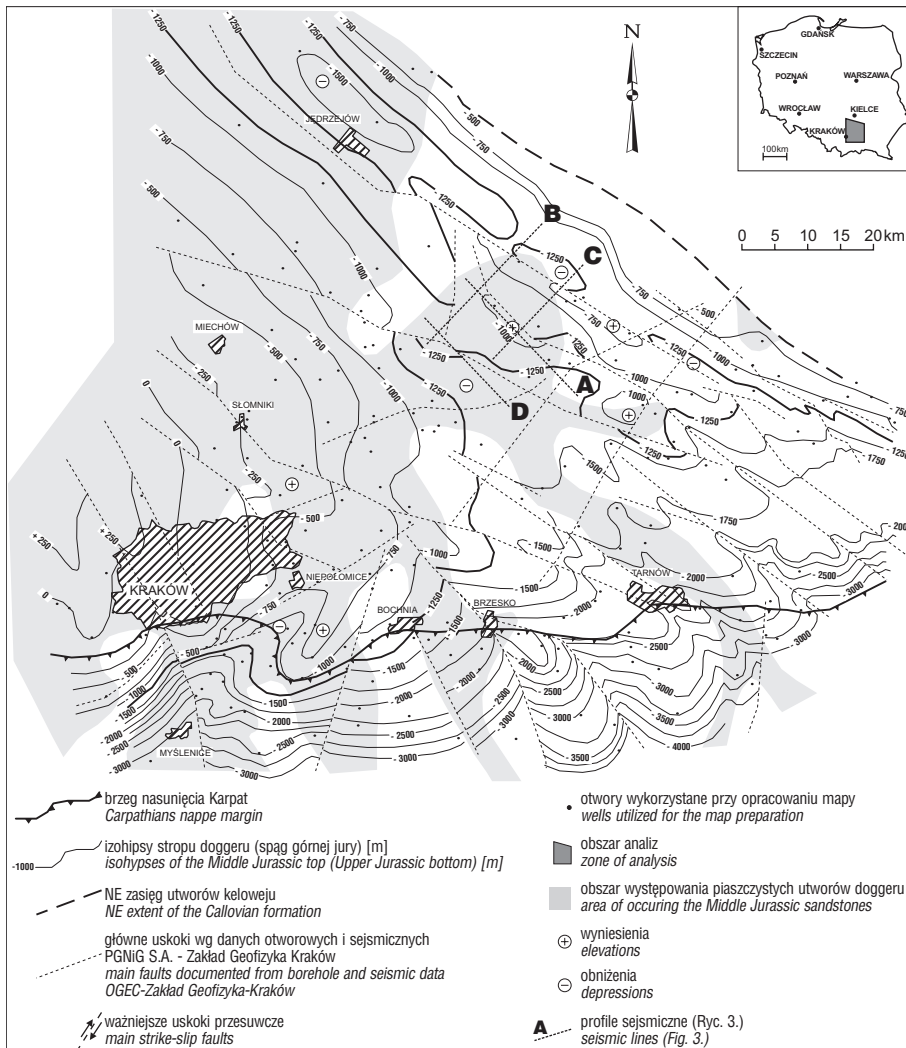
*n_{sr} — porowatość średnia (%); φ_{sr} — przepuszczalność średnia (mD)

lak, 1963; Jawor, 1970). Stwierdzono tu osady limniczne batonu wykształcone jako zlepieńce, mułowce i piaskowce o miąższości ok. 67 m z detrytusem roślinnym (podobny typ osadów występuje w dolnych warstwach szerokiej równoleżnikowej strefy Miechów-Busko o podwyższonej miąższości, ryc. 1). Wyższe warstwy w otworze Liplas 2 to morskie osady keloweju górnego o miąższości ok. 34 m. Rozpoczyna je seria zlepieńców przechodząca w piaskowce drobnoziarniste a kończy seria wapienno-piaskowca.

Przedstawiona na ryc. 1. mapa prezentuje jedynie przybliżone miąższości piaszczystych utworów doggeru. Wynika to z trudności miąższościowego rozdzielania piaszczystych i wapiennych osadów keloweju górnego oraz przyjęcia sumarycznej miąższości osadów bajosu (kujawu) i batonu jako serii piaszczystej. Największy udział miąższościowy piaszczystych utworów keloweju górnego występuje w strefie karpackiej między Krakowem, Myślenicami i Brzeskiem oraz na przedgórzu Karpat

między Krakowem a Słomnikami. Największe procentowe zapiaszczenie występuje w strefie otworów Dobczyce 4, Dobczyce 8, Raciborsko 3, Zabłocie 1, Liplas 2 (ryc.1) i osiąga wartość 40-50%. Na zewnątrz tej strefy w kierunku granicy zasięgu udział piaskowców spada na korzyść osadów mułowcowo-ilastych. Analizując miąższości doggeru można zaobserwować, że niezależnie od występowania licznych lokalnych obszarów zwiększonej miąższości (strefy zwiększonej subsydencji) — miąższości doggeru nie przekraczają przeważnie 200 m. Wyraźne jest również zjawisko regularnego zmniejszania miąższości w miarę zbliżania się do stref „wyspowych”.

Przedstawiona mapa ukształtowania stropowej powierzchni doggeru (ryc. 2) pozwala ocenić złożoność i różnorodność procesów, którym ulegał ten kompleks podczas swojej podepozycyjnej historii. Zróznicowanie głębokości stropu kompleksu wynoszące na tym obszarze ok. 3500 m (rejon Krakowa +250 m n.p.m.; rejon Zalas-



Ryc. 2. Strukturalna mapa powierzchni stropowej piaszczystych utworów doggeru (poza zasięgiem doggeru powierzchnia spągowa górnej jury)
Fig. 2. Structural map of Middle Jurassic sandstone top (Malm bottom is outside Dogger extent)

wej –3250 m n.p.m.; ryc. 1, 2) bezpośrednio rzutuje tutaj na znaczne zróżnicowanie temperatur i mineralizacji wód doggerskich. Zapadanie kompleksu doggerskiego odbywa się głównie w kierunku SE, przy czym zarówno w rejonie Jędrzejowa, jak i na SE od Kazimierzy Wielkiej (por. ryc. 1, 2) wyraźnie zaznaczają się formy nieckowate zgodne z przebiegiem głównej osi niecki miechowskiej.

Charakterystyczna jest strefa Kazimierza Wielka–Busko (ryc. 1, 3), gdzie ma miejsce translacja osi niecki miechowskiej biegnącej przez Jędrzejów (ryc. 2, 3) i skręcającej na SW ku Kazimierzy Wielkiej. Przepuszczalność w okresie kompresji laramijskiej, w wyniku działania uskoków przesuwczych miała miejsce inwersja tektoniczna obszaru leżącego na SE od Jędrzejowa, podczas której strefa osiowa niecki uległa wyniesieniu, co wyraźnie widać na sekcjach sejsmicznych (ryc. 3B, C). Rolę osi niecki przejęła natomiast strefa odsunięta ku SW również widoczna na przekrojach sejsmicznych. Styl budowy kompleksu doggeru wraz z estymacją miąższości przedstawiono na sekcjach sejsmicznych w kierunku prostopadłym (ryc. 3A, D) i równoległym (ryc. 3B, C) do izolacji miąższości. Rycina 3D pokazuje ukształtowanie kompleksu doggerskiego w strefie osiowej niecki miechowskiej, gdzie zaznacza się wyraźna zmiana miąższości i gdzie jest widoczny trend zapadania kompleksu w kierunku SE. Od granicy nasunięcia karpackiego utwory doggeru już w sposób zdecy-

dowany zapadają w kierunku południowym i południowo-wschodnim pod Karpaty.

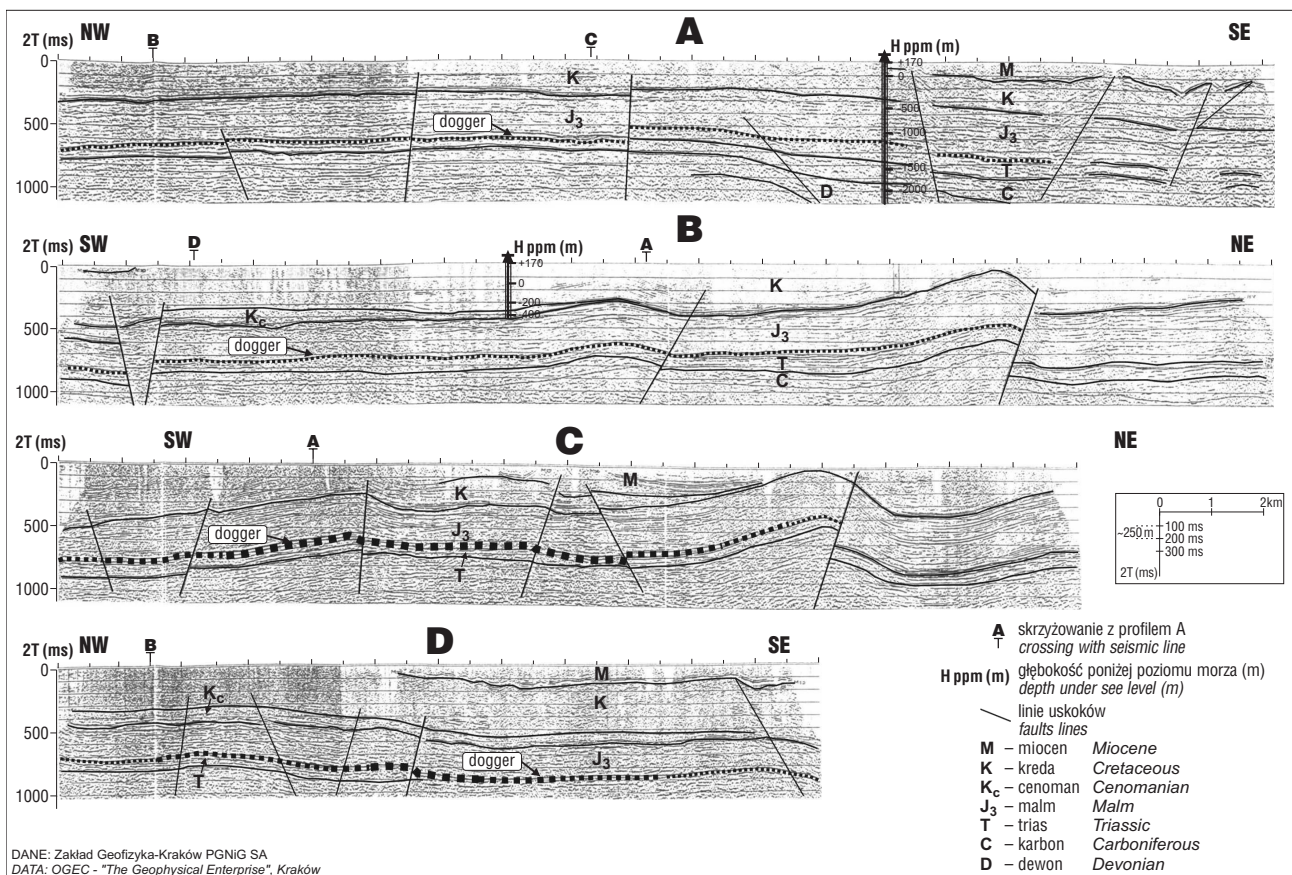
Parametry hydrogeologiczne utworów doggerskich

Utwory jury środkowej w strefie karpackiej i przedgórza Karpat omawianego obszaru reprezentowane przez osady bajosu górnego (kujawu), batonu i keloweju górnego odznaczają się porowatością intergranularną o średniej wartości 10,82% i przepuszczalności od 0 do kilku darcy ze średnią ok. 237 mD (wg badań laboratoryjnych rdzeni — Oszczytko & Tomasz, 1978). Parametry zbiornikowe są tutaj uzależnione od wykształcenia litologiczno-facjalnego, a strefy podwyższonych porowatości są związane z kompleksami piaszczystymi. Wyniki innych badań laboratoryjnych wskazują jednocześnie na duże różnice gęstości skał zbiornikowych doggeru od bardzo niskich wynoszących 1670 kg/cm³ (otwór Dobczyce 2) do wysokich o wartości 2770 kg/cm³ (otwór Borzęta IG-1) (Konior, 1978). Zróżnicowanie parametrów zbiornikowych i gęstości skał doggeru, na niewielkich przestrzeniach, nawet w obrębie jednego poziomu geologicznego, ma związek ze zróżnicowanym charakterem środowiska sedimentacji tych osadów. W najniższych partiach profilu

dominują piaszkowce utwory lądowe, przypuszczalnie związane z osadami koryt rzecznych, wykazujących bardzo zmienny przebieg i geometrię. Dotyczy to również występujących tu osadów limnicznych, które są zwykle ograniczone przestrzennie do rozmiaru jeziornego zbiornika sedimentacji. Morskie, margliste utwory keloweju górnego wykazują większą regularność wykształcenia, lecz nie posiadają z kolei cech zbiornikowych.

Profil bajosu górnego (kujawu) i batonu w strefie karpackiej i przedgórza budują głównie osady piaszkowce i mułowcowo-ilaste. Właściwości zbiornikowe serii piaszkowcowych kujawu są średnie, a lokalnie bardzo dobre, np.: w zatoce gdowskiej (rejon Liplasu, Jawczyc, ryc. 1) oraz w rejonie Myślenic (Borzęta, Dobczyce, Raciborsko, ryc. 1) stwierdzono maksymalne porowatości ponad 20%, przy najczęściej występujących porowatościach w granicach 10%. Najwyższe wartości — maksymalne przepuszczalności określono w otworach z następujących stref: Raciborsko, Dobczyce — 864 mD, Liplasz — 270 mD, Niżowa — 122 mD oraz Zabłocie — 107,5 mD (ryc. 1).

Piaszkowce batonu wykazują podobne porowatości dochodzące maksymalnie do 20, a nawet 25%, najczęściej jednak są one w granicach ok. 10%. Maksymalne porowatości oznaczono w rejonie Słomnik (otwór Słomniki 4, ryc. 1), gdzie wynosi ona 25%, przy przepuszczalności 565 mD. W rejonie Raclawic (otwór Raclawice 2, ryc. 1), gdzie średnia porowatość wyniosła 12,5%, a średnia przepuszczalność



Ryc. 3. Wybrane czasowe sekcje sejsmiczne ze strefy Kazimierza Wielka-Busko (lokalizacja — ryc. 2)
 Fig. 3. Selected seismic time sections from the Kazimierza Wielka-Busko zone (for localization see Fig. 2)

zaledwie 37,6 mD — uzyskano samowypływ wody słodkiej podobnie jak w sąsiednim otworze Skalbmierz 4 (ryc. 1), gdzie przy średniej porowatości 15,5% i przepuszczalności średniej 661 mD — samowypływ osiągnął wartość 20 m³/h. W południowej części przedgórza i w Karpatach przepuszczalności utworów batonu mieszczą się w przedziale od kilkunastu do ok. 170 mD (np. w profilach otworów ze strefy Raciborsko-Dobczyce-Niżowa-Gdów, ryc. 1). Dobre parametry utworów batonu oznaczono ponadto w strefach takich otworów, jak: Kalina 1, Kłonów 1 (10 km na E od Miechowa), gdzie porowatości są ok. 25%, a przepuszczalności do 1D, oraz Ostrów 1 (ryc. 1), gdzie samowypływ solanki (1,7 m³/h) miał miejsce przy maksymalnej porowatości 20,33% i maksymalnej przepuszczalności 1,8D. Charakterystyczne tutaj jest to, że często dużej porowatości (ponad 20%) odpowiada niska przepuszczalność, jak np. w otworach: Dobczyce 2, Jawczyce 1, Słomniki 3 (poniżej 10 mD).

Utwory keloweju górnego strefy karpackiej i przedgórza w dolnej części są wykształcone w facji ilasto-piaszczystej, a w górnej jako wapienie bulaste, przy czym oba typy skał wykazują znaczne różnice pod względem właściwości zbiornikowych. Porowatości piaskowców obliczone z profilowania neutron-gamma w strefie Wiśniowa-Niżowa są ok. 12–15%, a w strefie Brzesko-Brzeźnica dochodzą do 10%. Najwyższe przepuszczalności — do ok. 400 mD oznaczono dla profili otworów ze strefy Wiśnicza i Brzeźnicy (ryc. 1) oraz zatoki gdowskiej (Liplas, Niżowa) — do 123 mD.

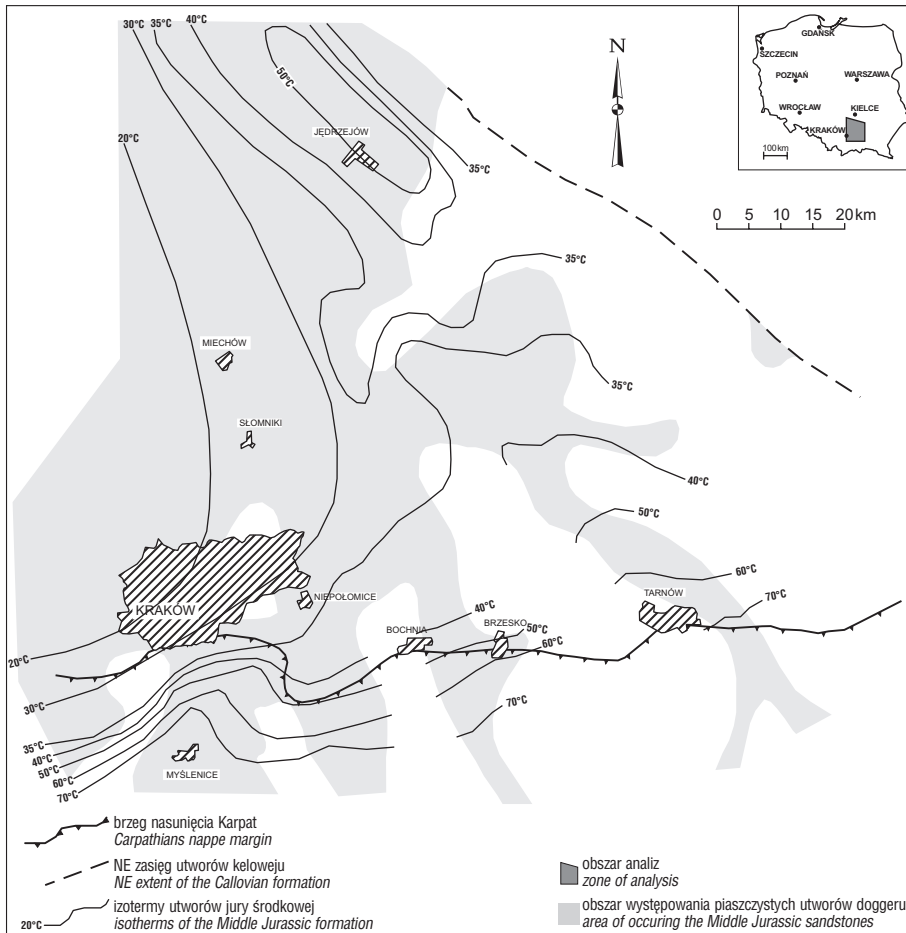
Z kolei w strefie niecki miechowskiej utwory zbiornikowe jury środkowej są reprezentowane przez piaszczyste osady bajosu górnego (kujawu) i keloweju (skrajna strefa NW) oraz batonu i keloweju na pozostałym obszarze niec-

ki. Osady wykazują tutaj bardzo zróżnicowane właściwości zbiornikowe, porowatości od 1,28% (otwór Jędrzejów IG-1) do 26,84% (otwór Biała Wielka IG-1), a przepuszczalności od 0 mD–1,81 D (otwór Ostrów 1, ryc. 1). Podwyższone przepuszczalności i porowatości są związane przede wszystkim ze strefą zwiększonych miąższości piaskowców, co można uznać za przesłankę w prospekcji stref zbiornikowych.

Oceny właściwości filtracyjnych utworów doggeru nie przeprowadzono ze względu na brak odnośnych danych, jednak wielkości przyływów i samowypływów wód złożowych, uzyskiwane przez opróbowanie poziomów próbnikiem złoza lub przez perforację (por. tab. 1), świadczą o wysokiej wartości współczynnika filtracji, głównie w strefach zwiększonej miąższości (otwory Skalbmierz 4, Raclawice 2, Słomniki 4, Dobczyce 4).

Cyrkulacja i wymiana wód

Środkowojurajski poziom wodonośny charakteryzuje się warunkami wodno-aporowymi i prawdopodobnie jedynie w strefie wychodni na zachód od Krakowa występują wody o zwierciadle swobodnym. Ciśnienia złożowe oscylują głównie w granicach ciśnień hydrostatycznych, ale często są również przypadki samowypływów z otworów (tab. 1). Strefa samowypływów to głównie NW część obszaru (otwory Biała Wielka IG-1, Secemin IG-1 oraz Włoszczowa IG-1) oraz strefa centralna rozciągająca się wzdłuż równoleżnikowej anomalii miąższościowej (ryc.1) pomiędzy otworami Raclawice 2 i Ostrów 1. Również w rejonie niepołomickim notowano samowypływy wysłodzonych wód. Mierzone ciśnienia głowicowe w otworach są od ok. 0,17 MPa w rejonie NW (otwór Włosz-



Ryc. 4. Mapa temperatur utworów jury środkowej
Fig. 4. Map of temperatures of Middle Jurassic formation

czowa IG-1) do ok. 1,1 MPa w rejonie Tarnowa (otwór Pawezów 3).

Nie obserwuje się natomiast samowypływów wód począwszy od linii nasunięcia karpacciego na południe, gdzie zwierciadło stabilizuje się na głębokościach od ok. 50–200 m p.p.t. (strefa Dobczyce–Raciborsko) i co ma związek ze znaczną wysokością obszaru. Obszarem hydrogeologicznego zasilania kompleksu środkowojurajskiego, kreującą jednocześnie warunki artazyjskie są podzwartorzędowe i powierzchniowe wychodnie tych utworów w rejonie Wyżyny Krakowskiej i SW obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. Obszary te ze względu na niewielką powierzchnię nie mają jednak dużego udziału w zasilaniu utworów środkowej jury. Istnieje natomiast możliwość intensywnego zasilania pośrednią drogą kontaktów tektonicznych w strefach licznych dyslokacji (ryc. 2), drogą kontaktów erozyjno-transgresyjnych z utworami triasu oraz drogą przeciekania pionowego z utworów jury górnej. Wydaje się, że względu na rozległość i miąższość wapiennego kompleksu górnej jury oraz jego cechy zbiornikowe jak również rozległe i liczne strefy spękań i skrasowienia ułatwiające hydrauliczny kontakt obu kompleksów odgrywa on główną rolę w pośrednim zasilaniu utworów jury środkowej.

Dla oceny warunków cyrkulacji i wymiany wód posłużono się wartościami zmierzonych ciśnień złożowych oraz danymi odnośnie głębokościowego usytuowania stref wodonośnych. otrzymany rozkład zredukowanych ciśnień złożowych odniesionych do najgłębszego opróbowanego poziomu (tu: –1937 m n.p.m., rejon Dobczyce) z uwzględnieniem zmian gęstości spowodowanych temperaturą

i mineralizacją (wg algorytmu Szczepańskiego, 1990) — wskazuje, że najwyższe ciśnienia zredukowane panują w strefie Olkusz–Zawiercie i że stamtąd pochodzi główna masa wód migrujących w obrębie piaskowców doggeru. Taki rozkład ciśnień zredukowanych implikuje przede wszystkim jeden regionalny system przepływu wód o zmiennym radialnym kierunku przepływu: od północnego poprzez zachodni ku południowemu (ryc. 1). Strefy zasilania w obrębie Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej, to rozległe wychodnie triasu i jury, gdzie infiltrujące wody wykorzystują liczne systemy dyslokacji i szczelin krasowych. Wyniesione strefy tych wychodni są odpowiedzialne za panujące tutaj warunki artazyjskie (za wyjątkiem strefy karpacciej przypuszczalnie „odciętej” przez czynniki tektoniczne od wyniesionych obszarów zasilania).

Temperatura wód złożowych

Nieduża miąższość utworów jury środkowej umożliwia przypisanie stałej temperatury całemu interwałowi głębokościowemu tego kompleksu. Temperaturę oszacowano głównie na podstawie prac Jurkiewicza (1976, 1994) dla obszaru niecki miechowskiej oraz katalogów PGNiG SA (m.in. Moryc, 1976). Najpełniejszą informację dotyczącą termicznej charakterystyki południowego obszaru niecki miechowskiej opracowano dla strefy otworu Jaronowice IG-1 (ok. 15 km na W od Jędrzejowa, ryc. 1), gdzie wykonano profilowanie termiczne na głębokości 26,0–2457,0 m (interwał doggerski: 1360–1407 m). Stwierdzono, że temperatura zmienia się od 17°C na głębokości 26 m do 66,3°C na głębokości końcowej 2457,0 m (Jurkiewicz, 1976). Na głębokości 1000 m (jura) temperatura wyniosła 35,7°C, a na głębokości 1500 m (retyk) — 39,5°C. Średnia wartość gradientu geotermicznego w przedziale 200,0–2500,0 m wynosi więc zaledwie 2,01°C/100 m. Z kolei gradient geotermiczny dla utworów jury (interwał 699,2–1407 m) jest jeszcze niższy i wynosi 1,81°C/100 m. Może to mieć związek z częstymi w tym rejonie ujemnymi anomaliami geotermicznymi, związanymi z infiltracją wód powierzchniowych. Nieco większy średni gradient geotermiczny — 2,3°C/100 m wyznaczono w NE części obszaru (otwór Brzegi IG-1, 15 km na NE od Jędrzejowa, ryc. 1). W strefie granicznej niecki miechowskiej i zapadliska przedkarpacciego (otwór Trzonów 2, ryc. 1) średni gradient geotermiczny do poziomu doggerskiego wynosi ok. 2,6°C/100 m. Najniższy wynoszący ok. 0,9°C/100 m gradient dla utworów jurajskich (malm+dogger) — przy średnim gradiencie do tego poziomu wynoszącym 2,2°C/100 m — stwierdzono dla strefy Słomnik. Również tutaj przyczyną są prawdopodobnie silne, wychładzające wpływy wód stref przypowierzchniowych.

Strefa przedkarpaccza wykazuje również silne zróżnicowanie gradientu termicznego. Przykładowo w rejonie Liplasu (zatoka gdowska) średni gradient geotermiczny do

poziomu doggerskiego wynosi ok. $1,0^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, a w rejonie Brzeska ok. $2,63^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Strefę karpacką charakteryzują bardziej szczelne warunki hydrogeologiczne, zapewniające większą stabilność wartości gradientów geotermicznych, gdzie jego wartość średnią oceniono na ok. $2,4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (strefa Dobczyce–Jadowniki, ryc. 1).

Podsumowując, temperatura wód doggerskich jest związana liniowo z głębokością występowania poziomu środkowej jury, za wyjątkiem pozytywnych anomalii strefy Skalbmierz–Trzonów (ryc. 4) oraz zachodniej części analizowanego obszaru, gdzie ma miejsce silna infiltracja chłodnych wód migrujących ze stref przypowierzchniowych. Tym należy również tłumaczyć to, że izoterma 20°C przebiega zarówno przez obszary, gdzie poziom wodonośny leży na głębokości ok. 0 m n.p.m. (Kryspinów 1, ryc. 2, 4), jak i przez tereny, gdzie poziom wodonośny leży na głębokości ok. 750 m n.p.m. (Biała Wielka IG–1, ryc. 1, 4). Analizy wykazały, że średni gradient termiczny do poziomu doggerskiego dla całego badanego obszaru jest niski i wynosi ok. $2,2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Skład chemiczny wód środkowojurajskich

Dane dotyczące chemizmu wód środkowojurajskich zawarte są w licznych opracowaniach Państwowego Instytutu Geologicznego pod redakcją Jurkiewicza (1976, 1994) oraz w katalogach wierceń PGNiG SA pod redakcją Moryca (1976). Na tej podstawie można stwierdzić, że mineralizacja wód doggerskich jest wyraźnie zróżnicowana i że ma ścisły związek z infiltracją wód słodkich. Migrują one głównie z kierunku zachodniego, gdzie wychodnie malmu, doggeru i przypuszczalnie triasu stanowią główne obszary wodnego zasilania. W miarę oddalania się od tej strefy w kierunku SE uwidacznia się wyraźny wzrost mineralizacji oraz zmiana typu genetycznego wód. Granica strefy występowania wód słodkich o mineralizacji poniżej 1 g/l przebiega tak jak pokazano na ryc. 1. Wewnątrz tej strefy według klasyfikacji Sulina występują wody typu kwasno-węglanowo-sodowego (otwór Raclawice 2, Włoszczowa IG–1, Secemin IG–1, Słomniki 4, Pągów IG–1). Wyraźną anomalię tworzy strefa otworów Trzonów 2–Wodziszów 2, gdzie oprócz występowania wód chlorkowo-wapniowych charakterystycznych dla strefy karpackiej mineralizacja osiąga wartości 19,0–53,0 g/l, podczas gdy wody stref otaczających wykazują mineralizację ok. kilku g/l. Może się to wiązać ze strefą wspomnianej anomalii termicznej, a więc termicznym i hydraulicznym kontaktem ze strefami wgłębny. Dalej ku wschodowi i południowemu wschodowi na obszarze zapadliska przedkarpackiego występują wody siarczanowo-sodowe o mineralizacji ok. od kilku do kilkudziesięciu gramów na liter (Grobla 33, Niepołomice 11, Kazimierza Wielka 1, Ostrów 1, Kobylniki 1). W strefie karpackiej i przedkarpackiej największy zasięg mają wody chlorkowo-wapniowe, które skoncentrowane są wzdłuż linii nasunięcia karpackiego i na południe od niej. Mineralizacja waha się od ok. 20 do stukilkudziesięciu g/l. Najniższą mineralizację stwierdzono w strefie otworu Raciborsko 3 (12,4 g/l), a najwyższą w strefie Brzesko–Jadowniki (130–150 g/l). W strefie Dobczyc występują również wody chlorkowo-magnezowe o mineralizacji pomiędzy 12,4 g/l (otwór Raciborsko 3) i 26,2 g/l (otwór Raciborsko 1A).

Koncepcje geotermalnego wykorzystania wód środkowej jury

Przeprowadzone analizy wskazują, że utwory jury środkowej ze względu na dużą lokalność występowania

korzystnych parametrów zbiornikowych stwarzają większe ryzyko geologiczne aniżeli kompleks cenomański. W tym aspekcie w Laboratorium Geotermalnym Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie prowadzono analizy mierzące do oceny możliwości geotermalnego wykorzystania tego kompleksu „we współpracy” z poziomem cenomańskim. Zakłada się, że eksploatacja i zatłaczanie wody geotermalnej odbywałoby się jednootworowo: jeden kompleks eksploatacyjny, drugi kompleks chłonny. Możliwość jednootworowej eksploatacji i zatłaczania wody geotermalnej z dwóch odizolowanych poziomów wodonośnych wstępuje m.in. w strefie Niepołomic, Wiśnicz, Kazimierzy Wielkiej, Słomnik i Raclawic, gdzie stwierdzone wodonośne poziomy cenomanu i doggeru są odseparowane kompleksem jury górnej. Również efektywność cieplna takiego systemu jest analizowana dla wybranych stref geotermalnych oraz dla różnej geometrii systemu eksploatacji i zatłaczania. Wyniki przeprowadzanych analiz miałyby na celu wytypowanie tych stref, gdzie projekty takie byłyby uzasadnione zarówno energetycznie, jak i ekonomicznie. Efekt ekonomiczny byłby tutaj również uzależniony od możliwości rekonstrukcji starego otworu, który pełniłby rolę zarówno otworu produkcyjnego jak i chłonnego.

Literatura

- ALEKSANDROWICZ S. 1955 — Szczątki fałszywej jurajskiej w Szklarach koło Krzeszowic. Biul. Inst. Geol., 97: 296–310.
- BARBACKI A.P. & KAZANOWSKA A. 2001 (w druku) — Cenomańskie wody geotermalne zapadliska przedkarpackiego i obszarów przyległych. Prz. Geol.
- DAYCZAK-CALIKOWSKA K. & KOPIK J. 1973 — Budowa Geologiczna Polski, t. 1, cz. 2, Stratygrafia: 237–272.
- DAYCZAK-CALIKOWSKA K. & MORYC W. 1988 — Rozwój basenu sedymentacyjnego i paleotektonika jury środkowej na obszarze Polski. Kwart. Geol., 32: 117–135.
- FELDMAN-OLSZEWSKA A. 1998 — Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce (pod red. R. Dadleza, S. Marka & J. Pokorskiego). Państw. Inst. Geol., tablice: 39–50.
- JAWOR E. & STEMULAK J. 1963 — Wgłębna budowa geologiczna przedgórza Karpat w obszarze na zachód od Dunajca i Wisły. Kwart. Geol., 7: 169–183.
- JAWOR E. 1970 — Wgłębna budowa geologiczna na wschód od Krakowa. Acta Geol. Pol., 20: 709–762.
- JAWOR E. & BARAN U. 2001 — Piaszkowce cenomanu –rozpoznanie i perspektywy poszukiwawcze. Nafta–Gaz, 2: 79–97.
- JURKIEWICZ H. 1976 — Profile głębokich otworów wiertniczych Instytutu Geologicznego. Jaronowice IG 1. z. 34. Państw. Inst. Geol.
- JURKIEWICZ H. 1994 — Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego. Secemin IG 1. z. 77. Państw. Inst. Geol.
- KONIOR K. 1978 — Ogólna analiza paleostrukturnalna i charakterystyka skał zbiornikowych wypiętrzenia rzeszotarskiego i obszarów sąsiadujących. Kom. Nauk Geol. PAN, Pr. Geol., 12: 3–63.
- MORYC W. 1965 — Uwagi o stratygrafii i rozwoju jury środkowej na przedgórzu Karpat w strefie Dąbrowa Tarnowska–Szczucin. Geofizyka i Geologia Naftowa, 10–12: 273–281.
- MORYCOWA E. & MORYC W. 1976 — Rozwój utworów jurajskich na przedgórzu Karpat w rejonie Dąbrowy Tarnowskiej–Szczucina. Roczn. Pol. Tow. Geol., 46: 231–267.
- MORYC W. 1976 — Katalog Wierceń Górnictwa Naftowego — Geonafta, t. I, cz. 5.
- MORYC W. 1985 — Structural evolution of pre-miocene basement of Carpathian Foreland east of Cracow. 13 Congress Carpatho-Balkan Geol. Ass., Cracow. Guide to excursion 4.
- OSZCZYPKO N. & TOMAŚ A. 1978 — Charakterystyka własności zbiornikowych osadów jurajskich na przedgórzu Karpat środkowych. Kwart. Geol., 22: 585–599.
- SZCZEPAŃSKI A. 1990 — Atlas wód geotermalnych Niżu Polskiego (objaśnienia tekstowe), praca zbiorowa pod red. W. Górecki ISE (AGH), Kraków: 123–134.