

Dolnokredowy oraz dolnojurański zbiornik wód geotermalnych na Niżu Polskim

Wojciech Górecki¹, Marek Hajto¹, Wojciech Strzetelski¹, Andrzej Szczepański¹

W. Górecki

M. Hajto

W. Strzetelski

A. Szczepański

Lower Cretaceous and Lower Jurassic aquifers in the Polish Lowlands. *Prz. Geol.*, 58: 589–593.

A b s t r a c t . Regional analysis of the Mesozoic and Paleozoic geothermal aquifers in the Polish Lowlands indicates that hot waters accumulated in Lower Cretaceous and Lower Jurassic deposits should be given priority in practical utilization. Crucial for this purpose are: high level of the geological recognition of the aquifers, occurrence of thick reservoir rocks, high water discharge, relatively high temperatures, particularly in the Lower Jurassic aquifer, and relatively low costs of drilling the

production and injection wells. The Lower Jurassic and Lower Cretaceous water-bearing layers are represented by sandstone complexes with very good reservoir properties. This is favourable for high water discharge, which has beneficial influence on economical justification of construction of geothermal plants. The above findings have been confirmed by the so-far geothermal investments, among others the geothermal plants in Pырzyce and Stargard Szczeciński, which utilize geothermal waters from the Lower Jurassic aquifer. Other plants, located in Uniejów and Mszczonów, central Poland, utilize waters from the Lower Cretaceous aquifer.

Keywords: geothermal energy, Lower Cretaceous aquifer, Lower Jurassic aquifer, Polish Lowlands

Dolnojurańskie poziomy wodonośne charakteryzują się największymi zasobami dyspozycyjnymi wśród analizowanych zbiorników wód geotermalnych na Niżu Polskim. Zasoby te wynoszą $1,88 \times 10^{18}$ J/rok, co odpowiada $4,48 \times 10^7$ TOE/rok (Górecki, 2006)². Zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej w zbiorniku dolnokredowym są niższe i wynoszą $3,95 \times 10^{17}$ J/rok, co odpowiada wartości $9,43 \times 10^6$ TOE/rok. Jednak dolnokredowe skały zbiornikowe występują stosunkowo płytko i wody geotermalne są dostępne przy zachowaniu proporcjonalnie niskiego ryzyka poszukiwawczego. Wody dolnokredowe charakteryzują się optymalnymi parametrami, takimi jak: wysokie wydajności, niska mineralizacja i względnie wysokie temperatury. W niektórych strefach eksploatacja może być prowadzona w warunkach ciśnienia artezyjskiego.

Rozwój sedymentacyjny i tektoniczny basenu mezozoicznego Niżu Polskiego determinował pionową i poziomą zmienność parametrów zbiornikowych oraz wpływał na odmienne warunki hydrodynamiczne krążenia wód w różnych strefach zbiorników.

Celem niniejszego artykułu jest syntetyczne przedstawienie rozkładu podstawowych parametrów hydrogeologicznych i geotermicznych dolnokredowego oraz dolnojurańskiego zbiornika wód termalnych na tle regionalnej budowy geologicznej i wykształcenia litologicznego profili geologicznych na Niżu Polskim, warunkujących możliwości występowania wód termalnych na obszarze stanowiącym ok. 80% powierzchni kraju. Dotychczasowe prace badawcze z zakresu geologii, hydrogeologii oraz geotermiki rejonu Niżu Polskiego, potwierdzone szeregiem projektów oraz inwestycji, wskazują, że kompleksowe wykorzystanie wód termalnych w tym rejonie powinno, w pierwszej kolejności, opierać się na potencjale zakumulowanym w zbiornikach dolnej kredy i dolnej jury, zarówno w zakresie zastosowań w ciepłownictwie, jak i w balneoterapii i rekreacji.

Geotermalny zbiornik dolnojurański

Warstwy wodonośne w utworach jury dolnej tworzą drobno- lub różnoziarniste piaski i piaskowce o zmiennej miąższości, przewarstwione słabo- lub nieprzepuszczalnymi ilowcami, ilowcami piaszczystymi, mułowcami i mułowcami piaszczystymi. Mimo znacznego zróżnicowania w profilu pionowym oraz zmiennej ciągłości rozprzestrzenienia poziomego i licznych zmian litofacjalnych można uznać, że wody podziemne występujące w przepuszczalnych utworach dolnojurańskich tworzą hydrodynamicznie jeden zbiornik (Szczepański, 2006) – *vide* rycina 1.

Warstwy wodonośne w utworach jury dolnej stanowią kompleksy piaskowcowe hetangu, synemuru, plienschachu i toarku górnego. Kompleksem izolującym o zasięgu regionalnym są ilowcowo-mułowcowe utwory toarku dolnego (Strzetelski, 1990; Feldman-Olszewska, 2006).

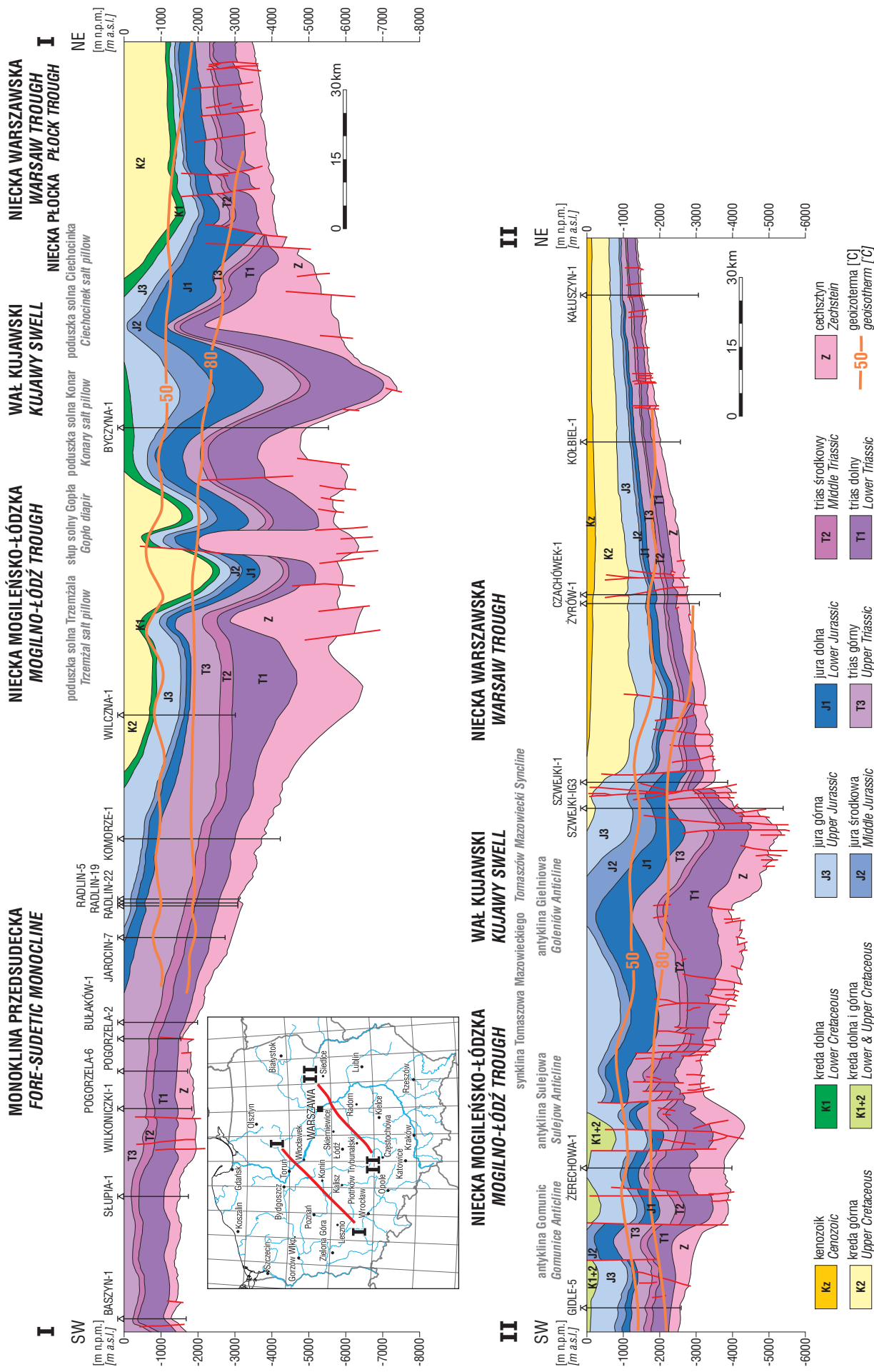
Piaszczysto-mułowcowo-ilaste utwory dolnej jury zajmują na Niżu Polskim powierzchnię 160 400 km². Osady dolnojurańskie rozwijały się w trzech zasadniczych subbasenach: szczecińsko-pomorskim, mogileńsko-lódzkim i pomorsko-kujawsko-warszawskim. Wpływ na ich współczesne położenie wywarły inwersyjne ruchy tektoniczne fazy młodokimeryjskiej (jura/kreda), a przede wszystkim fazy laramijskiej, które przekształciły bruzdę środkowo-polską w wał kujawsko-pomorski. W tej części obszaru odsłonięte i zerodowane kompleksy dolnojurańskie występują pod bezpośrednim przykryciem utworów paleogeńskich i neogeńskich lub wręcz czwartorzędowych. Są one zasilane poprzez infiltrację opadów atmosferycznych.

Głębokość położenia stropu utworów dolnej jury zmienia się w szerokim przedziale (ryc. 2). Największe głębokości występują w centralnych strefach nieck: mogileńsko-lódzkiej (od –1500 do –3900 m), szczecińskiej (od –1500 do –2800 m), warszawskiej (od –1500 do –2900 m) oraz w południowo-wschodniej części niecki pomorskiej (od –1500 do –1900 m).

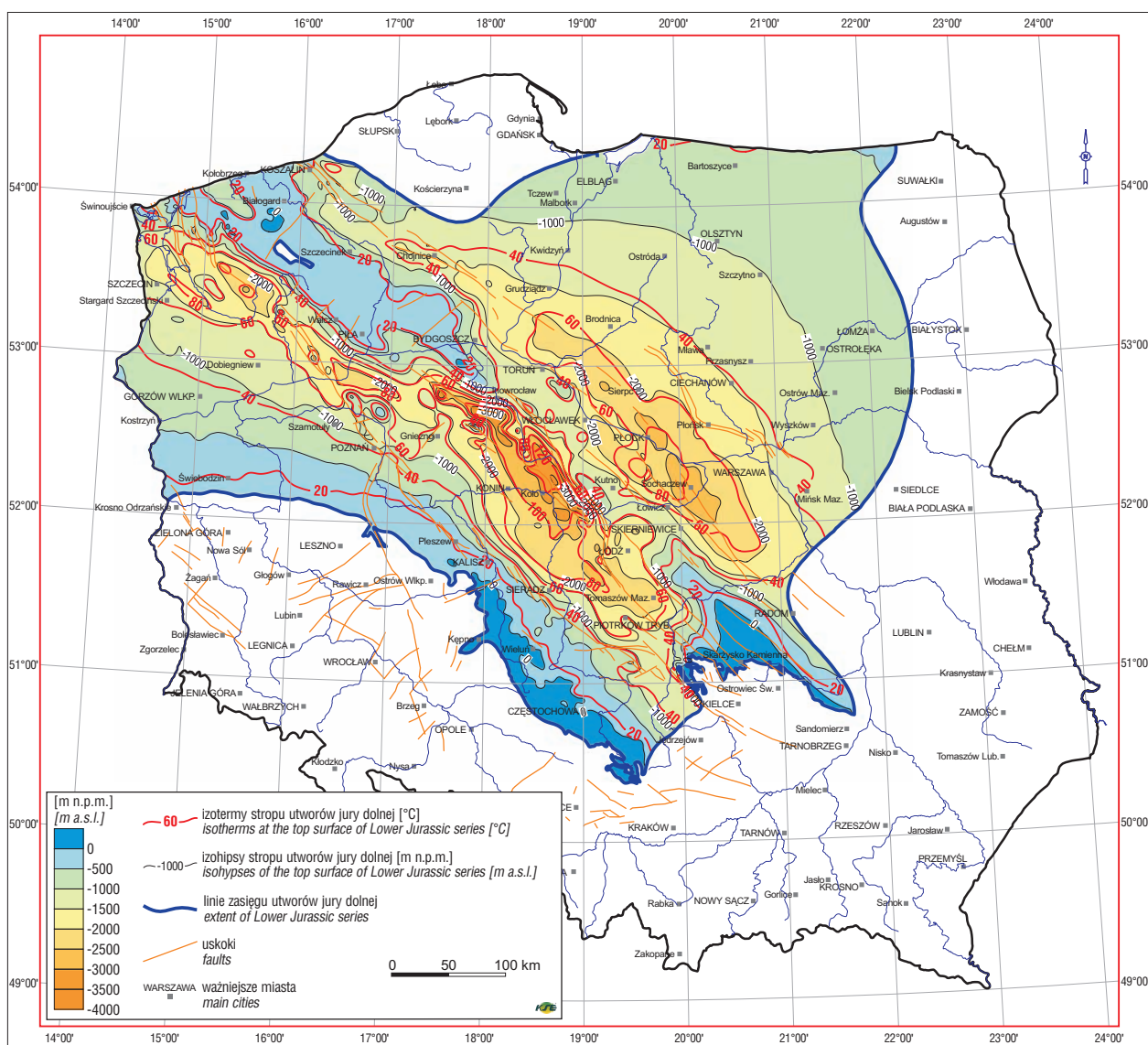
Ogólny rozkład sumarycznej miąższości utworów wodonośnych jest podobny do rozkładu całkowitej miąższości utworów jury dolnej. Sumaryczna miąższość warstw zawodnionych zmienia się w bardzo szerokim zakresie 10–650 m.

¹Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza; al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; mhajto@agh.edu.pl, wgorecki@agh.edu.pl, aszczep@agh.edu.pl

²TOE – tona oleju ekwiwalentnego – równoważnik jednej metrycznej tony ropy naftowej o wartości opałowej równej 41,868 kJ/kg



Ryc. 1. Przekroje geologiczne przez utwory Niziny Polskiego
 Fig. 1. Geological cross-sections through the Polish Lowlands



Ryc. 2. Rozkład temperatury na tle mapy strukturalnej stropu zbiornika jury dolnej na Niżu Polskim
Fig. 2. Distribution of temperature against the structural map of Lower Jurassic aquifer in the Polish Lowlands

Największe miąższości utworów wodonośnych występują na obszarze wału pomorsko-kujawskiego (150–650 m) oraz w centralnej części niecki szczecińskiej (300–500 m), we wschodniej i zachodniej części niecki mogileńsko-łódzkiej (150–250 m), w zachodniej części niecki pomorsko-warszawskiej (200–500 m) i północnej oraz północno-wschodniej części monokliny przedsudeckiej (200–300 m). W środkowej części wału pomorskiego sumaryczna miąższość warstw wodonośnych sięga 150–200 m.

Najniższe wartości sumarycznej miąższości warstw wodonośnych występują na obrzeżeniach zbiornika dolnojurajskiego oraz w centralnej części niecki mogileńsko-łódzkiej, gdzie wynoszą 10–100 m.

Temperatury wód termalnych są ściśle powiązane z głębokością ich występowania. Biorąc pod uwagę temperaturę wód, optymalne warunki akumulacji w obrębie zbiornika jury dolnej występują na głębokościach przekraczających 2000 m. Wody złożowe o temperaturze 40–80°C występują niemal na całym obszarze niecki szczecińskiej i mogileńsko-łódzkiej oraz warszawskiej. W północnej części monokliny przedsudeckiej, centralnej części niecki pomorskiej i niecki miechowskiej oraz lokalnie na obszarze wału kujawskiego temperatura wód złożowych w stropie utworów jury dolnej może sięgać 40–50°C (ryc. 2).

Wód geotermalnych o najwyższych temperaturach rzędu 120–150°C możemy oczekiwać w kompleksach wodonośnych dolnej jury w osiowej części niecki łódzkiej na północ i północny wschód od Konina (ryc. 2).

Mineralizacja wód związanych z utworami dolnojurajskimi zmienia się w ściślejszej zależności od głębokości ich występowania. W strefach zasilania w obrębie wychodni w peryferyjnych częściach jednostek strukturalnych mineralizacja nie przekracza wartości 2 g/dm³. Największą mineralizację stwierdzono w osiowych częściach niecki łódzkiej (do ponad 200 g/dm³), szczecińskiej i warszawskiej (do ponad 100 g/dm³). W całym zbiorniku dolnojurajskim dominuje występowanie wód geotermalnych o mineralizacji w granicach 10–100 g/dm³.

Przewodność warstw wodonośnych w dolnojurajskim zbiorniku wód termalnych na większości obszaru przekracza wartości rzędu $2,0 \times 10^{-3}$ m²/s. Najwyższymi przewodnościami cechują się skały budujące poziomy wodonośny wału kujawskiego – do $16,50 \times 10^{-3}$ m²/s oraz w zachodniej i centralnej części niecki warszawskiej, niecki pomorskiej i szczecińskiej – do $13,0 \times 10^{-3}$ m²/s. Przewodność warstw wodonośnych obniża się ku peryferiom zbiornika dolnojurajskiego.

Z analiz materiałów dokumentacyjnych oraz oznaczeń autorów wynika, że skały dolnojurańskie dzielą się na dwie grupy o zróżnicowanych właściwościach hydrogeologicznych. W pierwszej grupie skał praktycznie niewodonośnych mieszczą się mułowce, iłowce i bardzo drobnoziarniste piaskowce. Współczynniki porowatości otwartej tych skał nie przekraczają wartości 0,1; współczynniki odsączalności oscylują w granicach 0,02–0,06. Wielkości współczynników filtracji wahają się w przedziale 10^{-7} – 10^{-11} m/s. Drugą grupę skał dolnojurańskich (drobno- i średnioziarniste piaskowce oraz piaski) można traktować jako utwory zbiornikowe i przepuszczalne, gdyż cechują się współczynnikami porowatości otwartej 0,15–0,33 i współczynnikami odsączalności 0,08–0,22; a wartości współczynników filtracji tej grupy skał mieszczą się w granicach 10^{-5} – 10^{-7} m/s.

Największych wydajności z dolnojurańskich skał wodonośnych (do 550 m³/h) należy się spodziewać we wschodniej części niecki łódzkiej. Wydajności 200–400 m³/h występują prawie na całym obszarze niecki szczecińskiej i mogileńskiej, w zachodniej części niecki łódzkiej, na wale kujawskim i w centralnych obszarach niecek pomorsko-warszawskiej i miechowskiej. Na obszarze wału pomorskiego można oczekiwać wydajności rzędu 100–200 m³/h, a w centralnej części niecki mogileńsko-łódzkiej wydajność pojedynczego otworu geotermalnego może osiągać wartość 25–150 m³/h.

Na pozostałych obszarach zbiornika wydajności z pojedynczego otworu przypuszczalnie nie przekroczą 100 m³/h i będą małe zgodnie z kierunkiem wyklinowania się utworów jury dolnej.

Geotermalny zbiornik dolnokredowy

Powierzchnia dolnokredowego zbiornika wód geotermalnych wynosi około 127 900 km², co stanowi 41% powierzchni Polski. Dolnokredowy zbiornik geotermalny można traktować jako jeden poziom wodonośny (Szczepański, 1990). Zbudowany jest on z kompleksu nieciągłych, naprzemianległych warstw piaszczystych, piaszczysto-marglistych i piaszczysto-mułowcowych, wykazujących zróżnicowaną przepuszczalność i lokalnie kontaktujących się hydraulicznie. Zbiornik ten cechuje się łącznością hydrauliczną zarówno z niżej leżącymi poziomami wodonośnymi jury, jak i z nadległymi utworami węglanowymi kredy górnej. Wał pomorsko-kujawski, wzdłuż obydwu swoich krawędzi po stronie południowo-zachodniej i północno-wschodniej, stanowi istotną strefę zasilania, a także drenażu (Szczepański, 1995). Strefą zasilania w wody jest także obrzeżenie Gór Świętokrzyskich oraz skłón platformy wschodnioeuropejskiej.

Zasadniczymi poziomami wodonośnymi kredy dolnej są piaskowce zbiornikowe formacji bodzanowskiej, uszczelnione ilasto-mułowcowymi utworami formacji włocławskiej, piaskowce ogniwa pagórczańskiego (apt) oraz piaskowce ogniwa kruszwickiego (alb dolny i środkowy) najwyższej części formacji mogileńskiej. Uszczelnione są one marglisto-węglanowymi utworami albu górnego. Strop utworów kredy dolnej zalega na rzędnych zmiennych w granicach od ok. 250 m n.p.m. w rejonie Częstochowy i Kalisza, do ponad –2500 m n.p.m. w rejonie znajdującym się na północny wschód od Konina (ryc. 3). Największe głębokości występowania stropu tych utworów są rejestrowane w centralnych częściach niecki szczecińskiej i mogileńsko-łódzkiej (rzędna poniżej –1000 m n.p.m.). Na podobnych rzędnych układa się powierzchnia stropu utworów dolnokredowych w niecce warszawskiej i lubelskiej. We wszystkich wymienionych jednostkach strukturalnych strop utworów kredy dolnej podnosi

się ku strefom brzeżnym do rzędnych powyżej –500 m n.p.m. i dochodzi do nawet 270 m n.p.m. Powierzchnia stropu występuje najwyżej na wyniesieniu łukowsko-hrubieszowskim (od –500 do –200 m n.p.m.) i w północnej części niecki pomorskiej (od –750 do –200 m n.p.m.).

Miąższość warstw wodonośnych stwierdzonych w profilu utworów dolnokredowych jest zmienna w granicach od kilku do 300 m. Największe miąższości występują w niecce mogileńskiej oraz w północno-wschodniej części niecki łódzkiej, nieco niższe w południowo-zachodniej części niecki warszawskiej. Miąższości utworów wodonośnych maleją ku peryferyjnym strefom zbiornika.

W dominującym obszarze zbiornika dolnokredowego występują wody o temperaturach w przedziale 20–40°C (ryc. 3). W rejonach Skierniewice–Płock, północno-zachodniej części niecki łódzkiej (rejon Konina) oraz w północno-zachodniej części niecki szczecińskiej można spodziewać się wyższych temperatur wód, do 50–60°C. Występowanie najwyższych temperatur w stropie utworów dolnej kredy stwierdza się w rejonie Konina (zwłaszcza w kierunku północnym i północno-zachodnim od miasta), gdzie osiąga wartości przewyższające 90°C (ryc. 3).

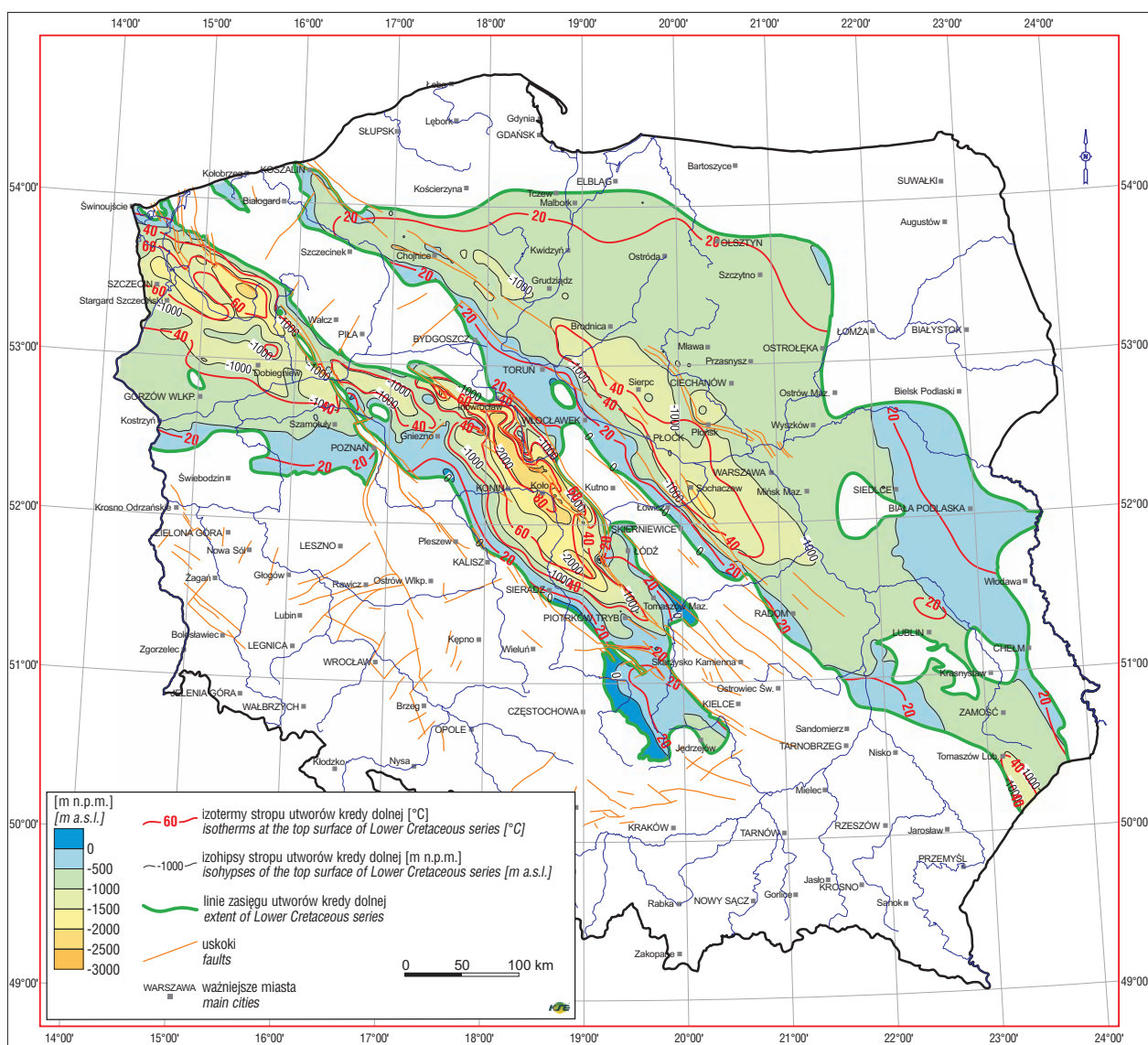
Mineralizacja wód podziemnych występujących w stropowych warstwach kredy dolnej zmienia się od stref wychodni, ku partiom centralnym jednostek strukturalnych. W strefach wychodni osadów starszych od paleogenu mineralizacja wód spada poniżej 2 g/dm³, wzrastając z kierunkiem przepływu wód i z głębokością do 20, a lokalnie nawet powyżej 50 (w rejonach Konina i Mogilna), czy ponad 100 g/dm³ (niecka szczecińska). Najbardziej wysłodzone dolnokredowe wody podziemne występują w granicach wału kujawskiego (0,5–10 g/dm³), południowo-wschodniej części niecki warszawskiej, w niecce miechowskiej oraz w południowo-wschodniej i zachodniej części niecki mogileńsko-łódzkiej.

Przewodność hydrauliczna warstw wodonośnych utworów dolnej kredy jest zmienna. Zdecydowanie najniższymi przewodnościami cechują się warstwy wodonośne wypełniające nieckę lubelską, wyniesienie łukowsko-hrubieszowskie, obniżenie podlaskie, wyniesienie mazursko-suwalskie, północno-zachodnią część niecki pomorskiej oraz nieckę szczecińską i miechowską (poniżej $0,50 \times 10^{-3}$ m²/s). Najwyższe wartości przewodności warstw wodonośnych występują w granicach wału kujawskiego i wału pomorskiego (ponad $1,0 \times 10^{-3}$ m²/s, lokalnie nawet ponad $3,0 \times 10^{-3}$ m²/s) oraz niecki łódzkiej i mogileńskiej, w granicach $1,0$ – $5,0 \times 10^{-3}$ m²/s).

Średni współczynnik filtracji utworów wodonośnych dolnej kredy, obliczony na podstawie próbnych pompowań wykonanych w studniach głębinowych i otworach wiertniczych (91 oznaczeń), wynosi $2,13 \times 10^{-5}$ m/s (średni harmoniczna). W rejonie Łodzi, na obszarze najbardziej intensywnego poboru wód z utworów dolnej kredy, średni współczynnik filtracji wynosi $2,4 \times 10^{-5}$ m/s.

W niecce mogileńsko-łódzkiej współczynnik filtracji, określony na podstawie wyników próbnych pompowań wykonanych w głębokich otworach, wynosi od $1,3 \times 10^{-7}$ do $2,9 \times 10^{-5}$ m/s, w niecce warszawskiej od $2,26 \times 10^{-6}$ do $6,05 \times 10^{-5}$ m/s, a łącznie w niecce lubelskiej i na wyniesieniu zrębowym podlasko-lubelskim zawiera się w przedziale od $2,94 \times 10^{-8}$ do $1,38 \times 10^{-5}$ m/s (śr. $3,94 \times 10^{-6}$ m/s).

Wydajności otworów ujmujących wody geotermalne zbiornika dolnej kredy wahają się w granicach od poniżej 25 m³/h, do ponad 200 m³/h. Wysokich wydajności potencjalnych dubletów geotermalnych (powyżej 100 m³/h) można spodziewać się w granicach wału kujawskiego i pomorskiego (lokalnie do 200 m³/h) oraz w rejonie niecki mogileńsko-łódzkiej, lokalnie ponad 300 m³/h.



Ryc. 3. Rozkład temperatury na tle mapy strukturalnej stropu zbiornika kredy dolnej na Niżu Polskim
Fig. 3. Distribution of temperature against the structural map of Lower Cretaceous aquifer in the Polish Lowlands

Wnioski

Regionalna analiza zbiorników wód geotermalnych na Niżu Polskim wskazuje, że wykorzystanie energii do celów ciepłowniczych, technologicznych, balneologicznych i rekreacyjnych opierać się będzie w najbliższych latach na zasobach dolnojurajskiego i dolnokredowego zbiornika hydrogeotermalnego.

Warstwy wodonośne w utworach jury dolnej i kredy dolnej stanowią kompleksy piaskowcowe o wysokich parametrach zbiornikowych. Sprzyja to użytkowaniu dużych wydajności, co wpływa pozytywnie na ekonomicznie uzasadnione budowy zakładów geotermalnych. Powyższe fakty potwierdzają dotychczas realizowane inwestycje geotermalne, w tym zakłady geotermalne w Pyrzycach i Stargardzie Szczecińskim, które wykorzystują wody geotermalne zbiornika jury dolnej. Dwa kolejne zakłady zlokalizowane w Polsce centralnej, w Uniejowie i Mszczonowie, pozyskują wody z dolnokredowego zbiornika geotermalnego.

Perspektywiczność utworów kredy dolnej potwierdza wykonany według projektu zespołu Akademii Górni-

czo-Hutniczej (Górecki i in., 2000) otwór Poddebice 1, w którym na głębokości 1967–2050 m uzyskano przyływ wody geotermalnej o temperaturze 71°C, mineralizacji 0,4 g/dm³ i wydajności 125 m³/h w warunkach artezyjskich.

Literatura

- GÓRECKI W., HAJTO M. & KUŹNIAK T. 2000 – Projekt prac geologicznych dla rozpoznania złóż geotermalnych w rejonie miasta Poddebice. Arch. Katedry Surowców Energetycznych AGH, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.) 2006 – Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim – formacje mezozoiku. Wyd. AGH, Kraków.
- STRZETELSKI W. 1990 – Geologiczna charakterystyka zbiorników wód geotermalnych na Niżu Polskim. [W:] Górecki W. (red.) Atlas wód geotermalnych Niżu Polskiego. Arch. Katedry Surowców Energetycznych AGH, Kraków: 49–55.
- SZCZEPAŃSKI A. 1990 – Warunki hydrotermalne dolnojurajskiego i dolnokredowego zbiornika geotermalnego – zbiornik dolnokredowy. [W:] Górecki W. (red.) Atlas wód geotermalnych Niżu Polskiego. Arch. Katedry Surowców Energetycznych AGH, Kraków: 316–322.
- SZCZEPAŃSKI A. 1995 – Zbiornik dolnokredowy – warunki hydrotermalne. [W:] Górecki W. (red.) Atlas zasobów energii geotermalnej na Niżu Polskim. Wyd. AGH, Kraków: 13.

Praca wpłynęła do redakcji 17.03.2010 r.
 Po recenzji akceptowano do druku 27.04.2010 r.