GEOLOGIA • 2009 • Tom 35 • Zeszyt 2/1 • 213–221

ZASOBY GEOTERMALNE WARSTW WODONOŚNYCH DOLNEJ JURY W NIECCE SZCZECIŃSKIEJ

Geothermal resources of Lower Jurassic aquifer in Szczecin Trough

Anna SOWIŻDŻAŁ

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Katedra Surowców Energetycznych;
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: ansow@agh.edu.pl

Abstract: The paper presents results of estimation of geothermal energy resources accumulated in Lower Jurassic formation in Szczecin Trough. Calculations of resources were carried out in respective categories, in particular static geothermal energy resources, static recoverable geothermal resources and disposable geothermal reserves. Range and amounts of disposable geothermal energy resources determinate areas where geothermal plants could be constructed.

Key words: geothermal resources, Lower Jurassic, Szczecin Trough

Słowa kluczowe: zasoby geotermalne, jura dolna, niecka szczecińska

WPROWADZENIE

W pracy przedstawiono rezultaty badań przeprowadzonych w ramach projektu badawczego promotorskiego pt: „Analiza geologiczna i ocena zasobów wód i energii geotermalnej formacji mezozoicznej niecki szczecińskiej" (umowa Nr 9004/B/T02/2007/33 z dnia 29.10.2007 r. o wykonanie projektu badawczego promotorskiego Nr N N525 2347 33, umowa AGH nr 18.18.140.620).

Obszar przyjęty do badań obejmuje północno-zachodnią cześć Niżu Polskiego i jest zawarty pomiędzy współrzędnymi od 52°00' do 54°00' szerokości geograficznej i od 14°00' do 17°15' długości geograficznej. Powierzchnia analizowanego obszaru wynosi 16 910 km^2, co stanowi 6.2% powierzchni Niżu Polskiego i 5.4% powierzchni Polski.

Podział litostratygraficzny jury dolnej w rejonie niecki szczecińskiej pozwala na wydzielenie sześciu warstw regionalnych, do których należą warstwy kamieńskie, gryfickie, komorowskie, łobeskie, radowskie i mechowskie (Marek & Pajchlowa 1997). Warstwy kamieńskie to osady pochodzenia wyłącznie śródlądowego, składające się głównie z piaskowców drobnoziarnistych z nielicznymi wkładkami ilastymi (Sokołowski *et al.* 1973). Warstwy gryfickie składają się z iłowców i mułowców z przewarstwieniami piaskowca. Trzon warstw

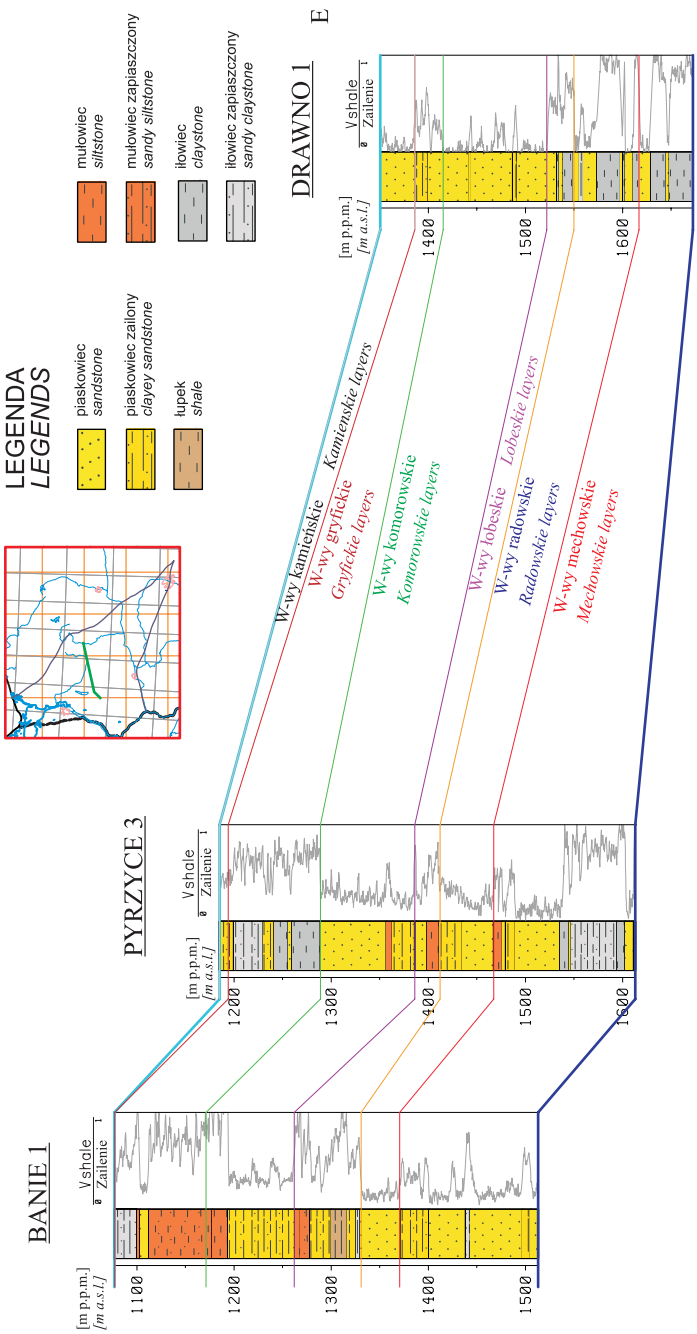

Fig. 1. Korelacja wybranych profili jury dolnej w rejonie niecki szczecińskiej

Fig. 1. Correlation of selected profiles of Lower Jurassic in Szczecin Trough area

komorowskich stanowią piaskowce. Wkładki ilaste mają znaczenie jedynie w górnej części warstw komorowskich, stanowiącej kompleks mułowcowo-ilasto-piaskowcowy. Warstwy komorowskie dolne składają się ze śródlądowych osadów piaszczystych. Warstwy łobeskie to mułowcowo-ilaste osady rozwinięte w facjach morza otwartego. Warstwy radowskie zbudowane są z osadów piaszczystych pochodzenia śródlądowego. Trójdzielne warstwy mechowskie składają się z naprzemianległych osadów mułowcowo-ilastych i piaszczystych. Dominują osady piaszczyste. Warstwy mechowskie dolne to osady piaszczyste śródlądowe z wkładkami osadów mułowcowo-ilastych brakiczno-morskich. Środkowa część warstw mechowskich charakteryzuje się zdecydowaną dominacją skał piaskowcowych. Na warstwy mechowskie górne składają się osady piaszczysto-mułowcowe, śródlądowe i brakiczno-morskie (Jaskowiak-Schoeneichowa *et al.* 1979).

Warstwami wodonośnymi w utworach jury dolnej niecki szczecińskiej są kompleksy piaskowców (Fig. 1). Najlepszymi parametrami zbiornikowymi cechują się piaskowcowe utwory warstw radowskich i mechowskich, a nieznacznie gorszymi utwory warstw komorowskich i kamieńskich. Najwyższe wartości średniej porowatości efektywnej (około 10%) związane są z wodonośnymi utworami warstw radowskich i mechowskich. Osady piaskowcowe jury dolnej rozdzielają serie osadów słaboprzepuszczalnych i nieprzepuszczalnych, wykształconych w postaci mułowców i iłowców. Kompleks izolujący stanowią utwory warstw łobeskich i gryfickich, cechujące się najwyższymi wartościami zailenia w całym profilu dolnojurajskim.

METODYKA OCENY ZASOBÓW ENERGII GEOTERMALNEJ

Ocena zasobów energii geotermalnej zakumulowanej w zbiorniku dolnojurajskim niecki szczecińskiej została przeprowadzona przy zastosowaniu metodyki opracowanej w Katedrze Surowców Energetycznych Akademii Górniczo-Hutniczej (Górecki *et al.* 1995, 2006). Jest to metodyka bazująca na zasadach oceny zasobów geologicznych stosowanych w krajach Unii Europejskiej (Haenel & Staroste 1988, Hurter & Haenel 2002) oraz na obliczeniach zasobów energii geotermalnej w oparciu o objętościowy model kalkulacji (Muffler & Cataldi 1979).

Obliczeń dolnojurajskich zasobów energii geotermalnej dokonano dla poszczególnych grup zasobów, przyjmując ich klasyfikację zaproponowaną przez Góreckiego i Hajto (2006):

zasoby statyczne wód i energii geotermalnej – to ilość wolnej (grawitacyjnej) wody geotermalnej, występującej w porach, szczelinach lub kawernach danego poziomu hydrogeotermalnego, wyrażana w metrach sześciennych lub kilometrach sześciennych (km^3), a po przeliczeniu w jednostkach energii cieplnej dżulach (J);

zasoby statyczne-wydobywalne wód i energii geotermalnej – stanowią tylko część zasobów statycznych wód i energii geotermalnej pomniejszonych o współczynnik wydobycia R_o. Wyrażane są w metrach sześciennych lub kilometrach sześciennych (km^3), po przeliczeniu w jednostkach energii cieplnej dżulach (J);

zasoby dyspozycyjne wód i energii geotermalnej – to ilość wolnej wody geotermalnej poziomu hydrogeotermalnego lub innej jednostki bilansowej możliwa do zagospodarowania w danych warunkach środowiskowych, ale bez wskazania szczegółowej lokalizacji i warunków techniczno-ekonomicznych ujęcia wody.

Zasoby dyspozycyjne wyrażane są w metrach sześciennych na dobę, w metrach sześciennych na rok (m^3/rok), dżulach (J/rok) lub w tonach ekwiwalentnych ropy naftowej na rok (TOE/rok; 1 TOE = 4.18×10^{10} J).

Podział ten wydziela jako ostatnią grupę zasoby eksploatacyjne wód i energii geotermalnej określone jako ilość wolnej wody geotermalnej możliwej do uzyskania w danych warunkach geologicznych i środowiskowych za pomocą ujęć o optymalnych parametrach techniczno-ekonomicznych. Ze względu na to, że zasoby eksploatacyjne określane są dla konkretnego otworu eksploatacyjnego lub też dla grupy takich otworów na podstawie wyników wszystkich badań hydrogeotermalnych przeprowadzonych w tychże otworach, w pracy nie przeprowadzono ich oceny. Oszacowano zasoby statyczne i statyczne-wydobywalne energii geotermalnej, a także najistotniejsze z punktu ich przemysłowego wykorzystania zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej.

Do obliczeń wykorzystano zaawansowane metody przetwarzania numerycznego, bazując na wzorach służących do oceny zasobów energii geotermalnej (Górecki *et al.* 2006).

Obliczenia poszczególnych kategorii zasobów zostały przeprowadzone przy użyciu programu ZMAPPlus firmy Landmark Graphic Corporation, który umożliwia wykonywanie złożonych wielostopniowych operacji arytmetycznych na gridach, czyli regularnych prostokątnych siatkach interpolacyjnych. Operacje na gridach wykonywano wielokrotnie przy przeliczaniu parametrów termicznych oraz hydrogeologicznych, zwłaszcza gdy wartości odnoszone były do stropu danej formacji. ZMAPPlus umożliwia także ręczną reedycję mapy z zastosowaniem interaktywnego edytora danych, co było wykorzystywane w przypadku występowania lokalnych zaburzeń siatki interpolacyjnej wynikających np. ze zbyt małej liczby danych. Do estymacji danych wykorzystano algorytm Least Sqares, a do wizualizacji wyników w postaci map konturowych odwzorowanie kartograficzne Albers Equal Area oparte na elipsoidzie Krassovsky'ego, przy południku centralnym 19°.

Mapy zasobowe powstały w wyniku superpozycji map charakteryzujących istotne, z punktu widzenia oceny zasobów, parametry hydrogeotermalne zbiornika dolnojurajskiego. Przeprowadzenie oceny zasobów geotermalnych zostało poprzedzone analizą geologiczną, termiczną, hydrochemiczną, petrofizyczną oraz hydrogeologiczną obszaru.

Rozkład temperatur w stropach utworów mezozoicznych jest ściśle powiązany z budową geologiczną obszaru. Temperatury wód podziemnych zakumulowanych w skałach formacji dolnojurajskiej są zmienne w zakresie od około 20 do prawie 90°C. Najwyższe temperatury w stropie utworów dolnej jury charakteryzują osiową część niecki. Temperatury powyżej 50°C stwierdzono wzdłuż wschodniego obrzeżenia niecki szczecińskiej, w strefie silnego oddziaływania tektoniki solnej. Najniższe temperatury (poniżej 30°C) zarejestrowano w otworach zlokalizowanych w północnej części obszaru badań (Wolin IG-1, Rokita IG-1). Na przeważającym obszarze występują wody o temperaturach od 30 do 60°C, przy czym największy odsetek wód (29%) przypada na przedział temperaturowy 40÷50°C. Wody o temperaturach powyżej 70°C obserwowane są tylko na 6% obszaru badań. Podane wartości temperatur stanowią wynik modelowania termicznego mezozoicznych powierzchni stropowych. Materiał wykorzystany przy modelowaniu stanowiły pomiary temperatur wykonane w 46 otworach wiertniczych. Źródłem informacji były archiwa BG Geonafta Warszawa, Polgeol Warszawa, PNiG Piła, a także Prace Instytutu Geologicznego.

Wartość mineralizacji wód w górnej partii skał zbiornikowych jury dolnej jest zmienna, w przedziale od około 20 do ponad 150 g/dm^3. Wodę o maksymalnej wartości mineralizacji, kształtującej się na poziomie 173.9 g/dm^3, pobrano z otworu Wolin IG-1 z głębokości –1238÷–1307 m p.p.m. (analiza wykonana w Laboratorium Instytutu Geologicznego). Strefa

występowania wód o mineralizacji powyżej 100 g/dm^3 biegnie od północy wzdłuż centralnej części obszaru aż do jego wschodniego obrzeżenia. Wartości minimalne obserwowane są w strefach brzeżnych.

Ze względu na występowanie na obszarze niecki szczecińskiej wód wysoko zmineralizowanych, zasoby statyczne-wydobywalne obliczono dla eksploatacji systemem wydobywczo-zatłaczającym, w którym woda geotermalna po odebraniu ciepła będzie z powrotem zatłaczana do danej warstwy wodonośnej. Obliczenia przeprowadzono przy założeniu, że temperatura zatłaczanej wody geotermalnej będzie wynosiła 25°C.

WYNIKI OCENY ZASOBÓW ENERGII GEOTERMALNEJ

Ocena zasobów energii geotermalnej przy zastosowaniu metodyki opisanej poprzednio wskazuje, że całkowite zasoby statyczne energii geotermalnej zakumulowanej w wodach i skałach zbiornika dolnojurajskiego wynoszą 4.73×10^{20} J, co odpowiada 1.13×10^{10} TOE ($1J = 1/4.18 \times 10^{10}$TOE). Zasoby te stwierdzono prawie na całym badanym obszarze, jedynie niewielki północno-wschodni skrawek obszaru pozbawiony jest dolnojurajskich zasobów statycznych energii geotermalnej. Jest to obszar wyniesiony, gdzie wody dolnojurajskie charakteryzują się minimalnymi temperaturami, w zakresie od kilku do kilkunastu °C. Najwięcej energii zakumulowanej jest w skałach i wodach podziemnych w rejonie wschodniego obrzeżenia niecki szczecińskiej zwłaszcza w okolicach miejscowości Dobra, gdzie obliczono jednostkowe zasoby statyczne o wartości przekraczającej 100 GJ. Ilość energii zakumulowanej w płycej zalegających utworach dolnojurajskich w rejonie bloku Gorzowa i w części północnej niecki szczecińskiej jest zdecydowanie mniejsza i kształtuje się na poziomie 10÷25 GJ/m^2.

Zasoby geotermalne możliwe do wydobycia stanowią tylko część dolnojurajskich zasobów statycznych wód i energii geotermalnej. W celu ich oszacowania obliczono wartość współczynnika wydobycia, który określa odsetek zasobów statycznych możliwych do wydobycia. Wielkość tego współczynnika przybiera wartości od około zera do 0.25 (0÷25%). Na niewielkim skraju południowo-zachodnim oraz w części północnej obszaru badań wielkość współczynnika wydobycia wskazuje na brak możliwości eksploatacji wód geotermalnych. Największy odsetek statycznych zasobów geotermalnych zakumulowanych w zbiorniku dolnojurajskim (ponad 25%) można wydobyć w części centralnej, w rejonie Stargardu Szczecińskiego i Chociwla. Na przeważającym terenie wielkość współczynnika wydobycia R_o kształtuje się na poziomie 0.1÷0.25, co oznacza, iż zasoby statyczne-wydobywalne stanowią od 10 do 25% zasobów statycznych.

Całkowite dolnojurajskie zasoby statyczne-wydobywalne energii geotermalnej wynoszą 9.51×10^{19} J, co stanowi ekwiwalent 2.27×10^9 TOE. Brak zasobów w omawianej grupie zasobowej obserwuje się na obszarze, gdzie współczynnik wydobycia nie przyjmuje wartości dodatnich, a więc na niewielkim skraju południowo-zachodnim oraz w części północnej obszaru badań. Powierzchnia, na której rozprzestrzeniają się zasoby statyczne-wydobywalne wynosi około 16500 km^2, co stanowi 97.5% powierzchni całej niecki szczecińskiej. Wielkości omawianych zasobów kształtujące się na poziomie powyżej 5 GJ/m^2 rejestrowane są w części centralnej i wschodniej niecki szczecińskiej, z tym że wartości maksymalne oszacowano w rejonie Dobrej, gdzie lokalnie wynoszą 25 GJ/m^2. Na pozostałej części obszaru (północnej, zachodniej i południowej) zasoby statyczne-wydobywalne energii geotermalnej przyjmują wartości poniżej 5 GJ/m^2 (Fig. 2).

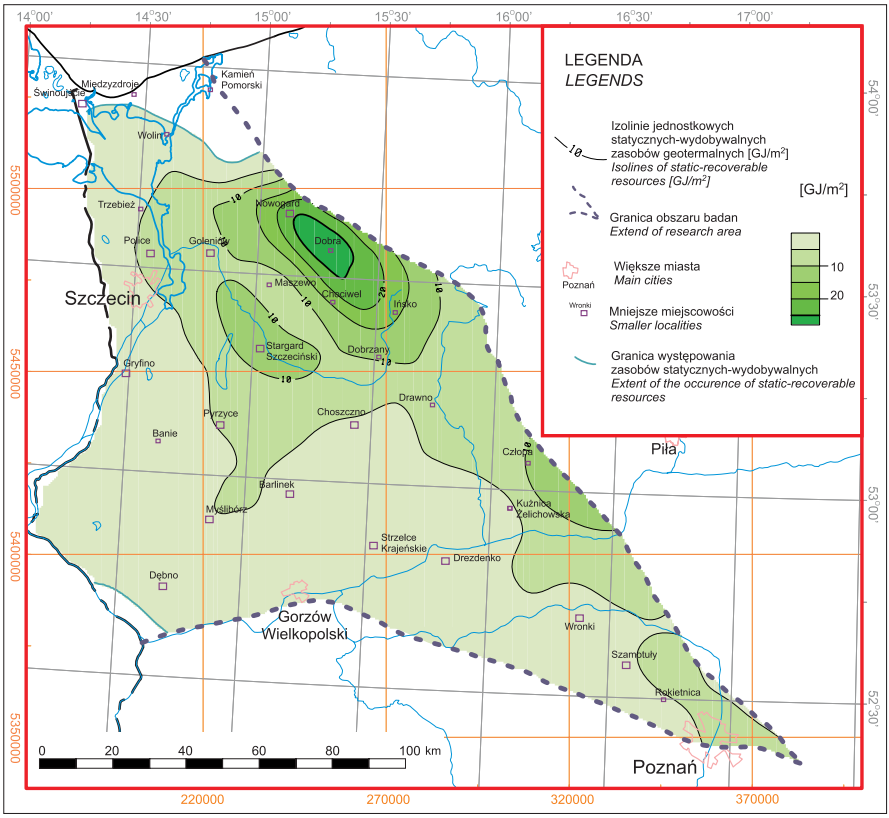

Fig. 2. Mapa jednostkowych zasobów statycznych-wydobywalnych energii geotermalnej zbiornika dolnojurajskiego niecki szczecińskiej

Fig. 2. Map of unit static-recoverable resources of Lower Jurassic geothermal aquifer in Szczecin Trough

Całkowite zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej zakumulowane w wodonośnych utworach dolnej jury wynoszą 2.92×10^{17}J, co odpowiada 6.9×10^{6} TOE. Powierzchnia występowania zasobów tego typu obejmuje 16 340 km^2 i pokrywa 97% obszaru badań. Brak jest zasobów w tej grupie zasobowej w północno-wschodniej i południowo-zachodniej części rejonu badań. Granice występowania zasobów dyspozycyjnych pokrywają się prawie dokładnie z granicami występowania zasobów statycznych-wydobywalnych.

Przedstawione na figurze 3 granice występowania obszarów perspektywicznych przy różnym stopniu wykorzystania ujęcia geotermalnego (LF) (Kuźniak & Hajto 2006) wskazują na tendencje spadku efektywności ekonomicznej przedsięwzięcia wraz ze zmniejszaniem się czasu zagospodarowania odebranego ciepła geotermalnego. Dla współczynnika obciążenia LF = 1 granice występowania zasobów dyspozycyjnych obejmują największy obszar. Teren perspektywiczny zmniejsza się wraz z założeniem krótszego czasu pracy ujęcia w ciągu roku. Analiza ekonomiczna (Kuźniak & Hajto 2006) pozwoliła określić zasięgi obszarów, które rokują nadzieję co do możliwości ekonomicznego wykorzystania ciepła wód geotermalnych.

Wyniki tej analizy nie mają wpływu na wielkość szacowanych zasobów dyspozycyjnych. W najbardziej korzystnym wariancie zasoby dyspozycyjne zbiornika dolnojurajskiego udokumentowane zostały prawie na całym obszarze niecki szczecińskiej. Ich wielkość jest zmienna w zakresie od kilku do ponad 40 MJ/m^2. Obszary perspektywiczne dla wszystkich rozważanych wariantów obejmują osiową część niecki szczecińskiej, gdzie równocześnie występują najwyższe wartości zasobów w opisywanej grupie. Obserwuje się trend zawężania obszarów korzystnych pod względem ekonomicznym przy uwzględnieniu różnych wartości współczynnika obciążenia LF w kierunku występowania obszarów o najlepszych parametrach zasobów dyspozycyjnych.

Zdecydowanie najlepszymi parametrami charakteryzuje się centralny rejon niecki szczecińskiej, zwłaszcza okolice Stargardu Szczecińskiego, Dobrzan i Chociwla, gdzie jednostkowe zasoby dyspozycyjne przyjmują wartość ponad 35 MJ/m^2. Obszary najmniej perspektywiczne zlokalizowane są w części północnej i na południowo-zachodnim skraju analizowanego obszaru. Rejon Gorzowa Wielkopolskiego charakteryzuje występowanie niewielkiej ilości zasobów dyspozycyjnych sporadycznie przekraczających 10 MJ/m^2 (Fig. 3).

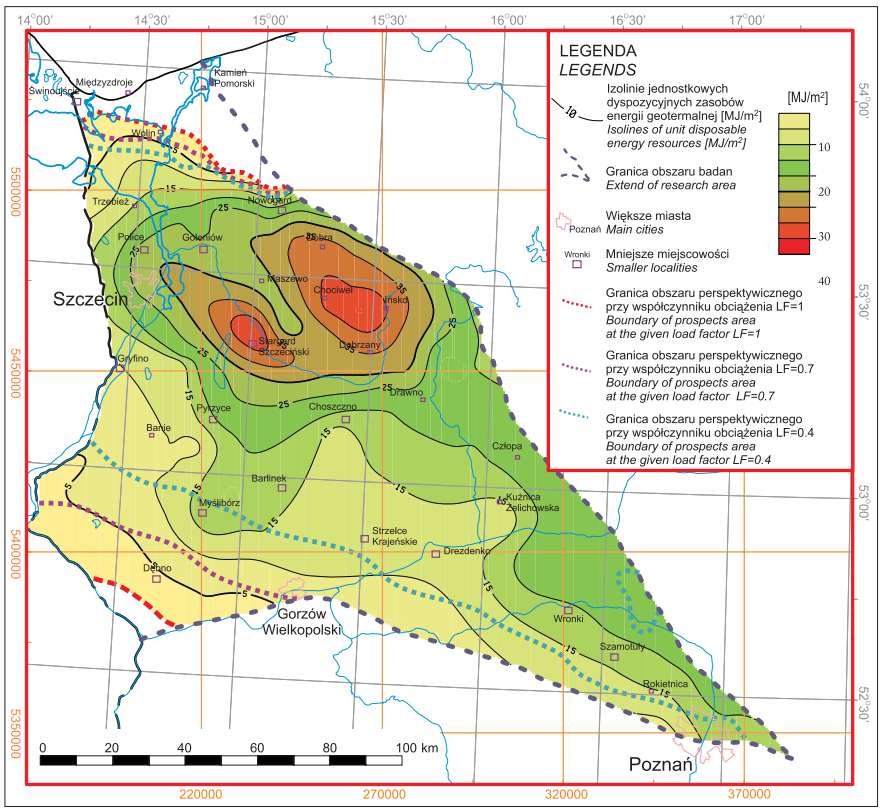

Fig. 3. Mapa jednostkowych zasobów dyspozycyjnych energii geotermalnej zbiornika dolnojurajskiego niecki szczecińskiej

Fig. 3. Map of unit disposable geothermal energy resources of Lower Jurassic aquifer in Szczecin Trough

Roczne zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej zakumulowanej w dolnojurajskiej formacji wodonośnej stanowią zaledwie 0.06% statycznych zasobów geotermalnych tego zbiornika i 0.3% zasobów statycznych-wydobywalnych. Zakładając, że można wykorzystać około 1.5÷2.5% zasobów dyspozycyjnych, na analizowanym obszarze istnieje możliwość uruchomienia od 9 do 14 instalacji geotermalnych wykorzystujących dolnojurajskie zasoby geotermalne, z których każda produkowałaby rocznie około 500 TJ ciepła.

PODSUMOWANIE

Głównym zastosowaniem ciepła z niskotemperaturowych systemów geotermalnych, do których należy zbiornik dolnojurajski niecki szczecińskiej, jest ciepłownictwo. Wykorzystanie energii geotermalnej w celach ciepłowniczych jest zdeterminowane głównie przez takie parametry jak temperatura i wydajność. Ich weryfikacja została przeprowadzona przy obliczaniu wielkości dolnojurajskich zasobów dyspozycyjnych niecki szczecińskiej. Z tego względu zasięgi i wielkości tych zasobów wyznaczają obszary perspektywiczne dla lokalizacji ujęć wód podziemnych zakumulowanych w warstwach wodonośnych dolnej jury. Jakkolwiek zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej zostały stwierdzone prawie na całym analizowanym obszarze, to strefy najbardziej perspektywiczne skupione są w części centralnej, gdzie w okolicach Stargardu Szczecińskiego, Dobrzan i Chociwla jednostkowe zasoby dyspozycyjne przyjmują wartości ponad 35 MJ/m^2 (Fig. 3).

Przy rozpatrywaniu możliwości budowy instalacji geotermalnych, oprócz własności wód geotermalnych należy wziąć pod uwagę także uwarunkowania dotyczące lokalnego rynku ciepłowniczego. Miasta, w których lokalizuje się ciepłownie geotermalne, powinny posiadać odpowiednich odbiorców ciepła, a ze względu na znaczną kapitałochłonność inwestycji geotermalnych lokalny rynek ciepłowniczy powinien być bardzo atrakcyjny, zdolny do przyciągnięcia inwestorów (Górecki *et al.* 2006). W wydzielonym zasięgu występowania maksymalnych dyspozycyjnych zasobów geotermalnych zlokalizowane są miejscowości, w których liczba odbiorców jest niewielka. Z tego względu należy zwrócić uwagę na większe miasta, w których wielkość zasobów dyspozycyjnych kształtuje się na poziomie 20÷25 MJ/m^2 (Fig. 3). Do takich miast należą Szczecin, Police, Goleniów i Nowogard. Na obszarze tych miast stwierdzono występowanie zasobów energii geotermalnej możliwej do przemysłowego wykorzystania, jednak oprócz uwarunkowań hydrogeotermalnych na opłacalność przedsięwzięcia geotermalnego wpływa wiele innych czynników (m.in. uwarunkowania ekonomiczne, zainteresowanie władz i społeczności lokalnej), których szczegółowa analiza jest niezbędna na etapie projektowania konkretnej instalacji geotermalnej.

Praca została sfinansowana ze środków na naukę w latach 2007–2009 jako projekt badawczy promotorski umowa nr 9004/B/T02/2007/33 z dnia 29.10.2007 roku o wykonanie projektu badawczego promotorskiego Nr N N525 2347 33, umowa AGH nr 18.18.140.620.

Praca była prezentowana na Sesji Naukowej organizowanej przez Katedrę Mineralogii, Petrografii i Geochemii pt. „90 lat Katedry Mineralogii, Petrografii i Geochemii w AGH”.

LITERATURA

Górecki W. & Hajto M., 2006. Klasyfikacje i metodyka oceny zasobów energii geotermalnej. W: Górecki W. (red.), *Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim*, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, 152–157.

Górecki W. (red.), 1995. *Atlas zasobów energii geotermalnej na Niżu Polskim*. ZSE, AGH, Towarzystwo Geosynoptyków Geos, Kraków, 37, zał. 34.

Górecki W. (red.), 2006. *Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim*. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, 484.

Haenel R. & Staroste E., 1988. *Atlas of geothermal resources in the European Community*. Austria and Switzerland, Hannover, Germany, 74 p., 110 plates.

Hurter S. & Haenel R., 2002. *Atlas of geothermal resources in Europe*. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 91 p., 89 plates.

Jaskowiak-Schoeneichowa M. (red.), 1979. *Budowa geologiczna niecki szczecińskiej i bloku Gorzowa*, Prace Instytutu Geologicznego, XCVI, 178.

Kuźniak T. & Hajto M., 2006. Metodyka oceny ekonomicznej dokumentowanego zbiornika hydrogeotermalnego oraz szacowanie jego zasobów dyspozycyjnych. W: Górecki W. (red.), *Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim,* Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, 163–165.

Marek S. & Pajchlowa M., 1997. Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego CLIII*, Warszawa, 452.

Muffler P. & Cataldi R., 1978. Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*, 7, 53–89.

Sokołowski S. (red.), 1973. *Budowa geologiczna Polski. T. 1: Stratygrafia, cz. 2: Mezozoik*. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 806.