



## POTENCJAŁ ENERGETYCZNY WÓD TERMALNYCH NA NIŻU POLSKIM

### ENERGY POTENTIAL OF THERMAL WATERS IN THE POLISH LOWLAND

MAREK HAJTO<sup>1</sup>, WOJCIECH GÓRECKI<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono wyniki obliczeń zasobów energii zakumulowanej w wodach termalnych, występujących w profilu geologicznym utworów mezozoiku i paleozoiku na obszarze Niżu Polskiego.

Wykonana analiza zasobów obejmowała obszar o powierzchni ok. 270 tys. km<sup>2</sup>, co stanowi ponad 87% powierzchni kraju. Obliczenia przeprowadzono z uwzględnieniem przyjętej klasyfikacji zasobów, zgodnie z diagramem McKelveya. Wydzielono m.in. zasoby geologiczne: statyczne i statyczne-wydobywalne oraz zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej. W celu obliczenia zasobów dyspozycyjnych zastosowano metodę opartą na wskaźnikowej ocenie efektywności ekonomicznej pozyskania ciepła (współczynnik mocy), który jest wskaźnikiem mówiącym, ile razy moc cieplna ujęcia geotermalnego przewyższa moc cieplną stanowiącą ekwiwalent nakładów kapitałowych i kosztów eksploatacji tego ujęcia. Analiza powyższego wskaźnika pozwoliła na dokonanie wstępnej oceny opłacalności pozyskania energii geotermalnej w skali regionalnej i wskazanie obszarów perspektywicznych w obrębie poszczególnych zbiorników. Wyniki wskazują, że statyczne zasoby energii geotermalnej, zakumulowane w dziewięciu głównych zbiornikach: dewońskim, karbońskim, dolno-permskim, dolnotriasowym, górnortriasowym, dolnojurajskim, środkowojurajski, górnójurajskim oraz dolnokredowym na Niżu Polskim wynoszą  $1,45 \times 10^{22}$  J ( $3,47 \times 10^{11}$  toe). Łączne zasoby statyczne-wydobywalne energii zostały ocenione na  $2,9 \times 10^{21}$  J ( $6,9 \times 10^{10}$  toe), a sumarczne zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej, wynoszą  $9,21 \times 10^{18}$  J/rok, co odpowiada  $220 \times 10^6$  toe.

Zasoby eksploatacyjne wód i energii geotermalnej mogą być ocenione dopiero po wykonaniu otworu udostępniającego złożo oraz po wykonaniu pompowań pomiarowych. Z tego względu ocena zasobów eksploatacyjnych w skali regionalnej nie jest w zasadzie możliwa, ponieważ do celów praktycznych możemy wykorzystać jedynie ok. 1,5–2,5% zasobów dyspozycyjnych (Górecki i in., 2003), zasoby eksploatacyjne energii geotermalnej na Niżu Polskim zostały oszacowane na  $1,38 \times 10^{17}$ – $2,30 \times 10^{17}$  J/rok ( $3,3$ – $5,5 \times 10^6$  toe/rok).

**Słowa kluczowe:** energia geotermalna, zasoby, atlas zasobów, Niż Polski.

**Abstract.** The paper presents results of calculations of geothermal energy resources accumulated in the aquifers of Mesozoic and Paleozoic age in the Polish Lowlands.

The analysis carried out in the project covered approximately 270 th. square km, that represents more than 87 percent of the territory of Poland. The calculations were made with regard to the classification of resources, in accordance with the McKelvey's diagram. The static, static-recoverable geothermal resources and disposable geothermal reserves were distinguished. For calculation of disposable reserves the methodology of evaluation of economic factor efficiency of heat recovery was applied (the power factor). The methodology enabled preliminary assessment of the geothermal energy utilization profitability at the regional scale and indication of prospective areas within particular aquifers. Static geothermal energy resources accumulated in nine major reservoirs: Devonian, Carboniferous, Cisuralian, Lower Triassic, Upper Triassic, Lower Jurassic, Middle Jurassic, Upper Jurassic and Lower Cretaceous in the Polish Lowlands are estimated at  $1,45 \times 10^{22}$  J ( $3,47 \times 10^{11}$  toe). Total static-recoverable resources has been assessed at  $2,9 \times 10^{21}$  J ( $6,9 \times 10^{10}$  toe). Total disposable reserves of geothermal energy accumulated in nine major geothermal reservoirs was estimated at  $9,21 \times 10^{18}$  J/year, which corresponds to  $220 \times 10^6$  toe/year.

It should be emphasized that admissible water and energy reserves can only be assessed after drilling operation and pumping measurements has been performed. Therefore, assessment of admissible energy resources on a regional scale is in principle not possible. Assuming the recovery of 1.5–2.5% of disposable reserves (Górecki *et al.*, 2003), the admissible reserves of geothermal energy are estimated as  $1,38$ – $2,30 \times 10^{17}$  J/year ( $3,3$ – $5,5 \times 10^6$  toe/year).

**Key words:** geothermal energy, resources, atlas of resources, Polish Lowlands.

<sup>1</sup> Katedra Surowców Energetycznych, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: mhajto@agh.edu.pl, wgorecki@agh.edu.pl

## WSTĘP

Do końca 2009 roku, na obszarze Niziu Polskiego funkcjonowały zaledwie cztery instalacje geotermalne produkujące ciepło do celów grzewczych, dostarczające wody termalne na zapotrzebowanie systemów ciepłowniczych dla: Stargardu Szczecińskiego, Pyrzyca, Uniejowa oraz Mszczonowa. Łączna zainstalowana moc cieplna bloków geotermalnych powyższych instalacji wynosi ok. 29,3 MWt. (Bujakowski, 2006).

Funkcjonujące instalacje geotermalne zlokalizowane są w centralnej oraz północno-zachodniej części Niziu Polskiego, w rejonie niecek: warszawskiej, mogileńsko-lódzkiej oraz szczecińskiej.

Analiza literatury z zakresu geologii podstawowej, hydrogeologii oraz geotermiki wskazuje, że rejon Niziu Polskiego jest obszarem dobrze rozpoznany w kontekście możliwości wykorzystania złóż kopalin, w tym kopalin pospolitych, a w szczególności wód termalnych.

Wydobywalne zasoby energii geotermalnej w Polsce zostały wstępnie, w roku 1987, ocenione na ok.  $7 \times 10^9$  tpu, co odpowiada  $4,9 \times 10^9$  toe. W roku 1990 Szargut (Szargut, 1990) przeliczył zasoby geotermalne Polski zakładając, że są one wykorzystywane jedynie do celów ciepłowniczych. Kalku-

kulacje wskazały na wielkość rzędu  $2,6 \times 10^6$  tpu ( $1,8 \times 10^6$  toe). Szacunki krajowych zasobów złóż geotermalnych są więc zróżnicowane. Znaczne różnice wartości wynikają głównie z zastosowania różnych metod obliczeniowych oraz różnej oceny możliwości pozyskania i wykorzystania geotermalnych źródeł ciepła.

Próbę zastosowania ujednoczonych kryteriów i metodyki oceny zasobów dla obszaru Polski Niżowej podjęto w ramach finansowanego przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Warszawie projektu pt.: „Atlasy geotermalne formacji mezozoicznej i paleozoicznej – analiza geologiczna, hydrogeologiczna i geotermiczna oraz zasobowa wód i energii geotermalnej na Niziu Polskim”, wykonanego w latach 2004–2006, na zlecenie Ministra Środowiska przez konsorcjum Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie i Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie. Podczas realizacji przedsięwzięcia dokonano syntezy wyników wieloletnich prac z zakresu możliwości wykorzystania wód termalnych w rejonie Polski Niżowej, a wyniki opublikowano w formie Atlasów (Górecki, red., 2006a, b).

## METODYKA OCENY ZASOBÓW ENERGII GEOTERMALNEJ

Kalkulacja zasobów energii geotermalnej została przeprowadzona z zastosowaniem ujednoczonych kryteriów klasyfikacji zasobów i metodyki obliczeniowej prezentowanej m.in. w *Atlasie zasobów geotermalnych Europy* (Haenel, Staroste, 2002). Wyniki kalkulacji zasobów poszczególnych zbiorników wód termalnych na Niziu Polskim są porównywalne, a perspektywiczne lokalizacje dla wykorzystania wód termalnych wskazują strefy charakteryzujące się najkorzystniejszymi parametrami hydrogeologicznymi i termicznymi w skali całego obszaru Polski niżowej. Obszar kalkulacji zasobów, obejmował ponad 87% powierzchni kraju i dotyczył dziewięciu zbiorników wód termalnych: dewońskiego, karbońskiego, dolnopermskiego, dolnotriasowego, górnortriasowego, dolnojurańskiego, środkowojurańskiego, górnorejurańskiego oraz dolnokredowego. Autorzy oszacowali wielkość zasobów geologicznych wód i energii geotermalnej stosownie do wydzielonych kategorii zasobów, zgodnie

z klasyfikacją McKelvey'a (Muffler, Cataldi, 1978), tj: dostępne, statyczne, statyczne-wydobywalne i dyspozycyjne zasoby energii geotermalnej. Dodatkowo zastosowano metodykę wskaźnikowej oceny ekonomicznej efektywności pozyskania ciepła zbiorników wód termalnych oraz, tzw. współczynnik mocy (Gosk, 1982), co pozwoliło na dokonanie wstępnej oceny opłacalności wykorzystania pozyskania energii geotermalnej w skali regionalnej. Określono wielkości zasobów dyspozycyjnych energii geotermalnej i wskazano obszary perspektywiczne w obrębie poszczególnych zbiorników.

Pod względem geologicznym, obszar kalkulacji zasobów obejmował szesnaście jednostek geostrukturalnych Niziu Polskiego, z wyłączeniem Masywu Świętokrzyskiego, w strefie którego dotychczasowe badania nie wskazują na możliwość występowania zbiorników wód termalnych.

## ZASOBY GEOLOGICZNE ENERGII GEOTERMALNEJ

Jak wskazują wyniki kalkulacji zasobów energii geotermalnej, jej sumaryczne, geologiczne zasoby statyczne zakumulowane w dziewięciu głównych zbiornikach wód termalnych Polski niżowej wynoszą  $1,45 \times 10^{22}$  J ( $3,47 \times 10^{11}$  toe). Powyższa wartość określa całkowitą wielkość energii jaka jest zakumulowana w skałach i wodach wyszczególnionych

poziomów zbiornikowych. Zasoby statyczne (geologiczne) energii geotermalnej mają tylko znaczenie poznawcze i są wielkościami teoretycznymi ciepła zakumulowanego w skałach oraz wodach podziemnych, i nie należy ich utożsamiać z zasobami, które mogą być wykorzystane dla celów komercyjnych.

Ze względów technologicznych i środowiskowych nie jesteśmy niestety w stanie wydobyć całości zasobów geologicznych. Część tych zasobów, którą teoretycznie możemy wydobyć na powierzchnię Ziemi, przy uwzględnieniu określonych, podstawowych warunków technicznych udostępnienia złoża oraz pozyskania ciepła z medium geotermalnego (temperatury schłodzenia wód oraz sposobu eksploatacji – dublet geotermalny) nosi nazwę zasobów statycznych-wydobywalnych. Relacje wielkości zasobów statycznych do statycznych-wydobywalnych określane są mianem współczynnika wydobywania – Ro. Łączne zasoby statyczne-wydobywalne dziewięciu zbiorników wód termalnych, dla których wykonano kalkulacje zostały ocenione na  $2,9 \times 10^{21}$  J

(tab. 1) ( $6,9 \times 10^{10}$  toe). Obliczenia teoretyczne zasobów energii geotermalnej oraz porównanie wielkości zasobów statycznych-wydobywalnych do zasobów statycznych wskazują, że ze względów technologicznych (przy zastosowaniu systemu eksploatacji opartego o dublet otworów eksploatacyjno-chłonnnych) nie jest możliwe wydobyć więcej niż ok. 20% sumarycznych zasobów energii zakumulowanych w wodach i skałach na Niziu Polskim. Uśredniona wartość współczynnika wydobywania dla dziewięciu zbiorników wód termalnych to 19,93%.

Praktyczne znaczenie mają zasoby dyspozycyjne, w szczególności zasoby eksploatacyjne.

## ZASOBY DYSPOZYCYJNE I EKSPLOATACYJNE ENERGII GEOTERMALNEJ

Zasoby dyspozycyjne energii zbiornika wód termalnych stanowią udokumentowaną część zasobów statycznych-wydobywalnych, których wykorzystanie może być ekonomicznie uzasadnione. Oszacowanie zasobów dyspozycyjnych wymaga dokonania oceny opłacalności wykorzystania ener-

gii geotermalnej wód danego zbiornika, poprzez porównanie poziomu niezbędnych do poniesienia nakładów inwestycyjnych na wybudowanie ujęcia geotermalnego, do ilości energii możliwej do uzyskania w jednostce czasu, przy alternatywnym sposobie wykorzystania środków finansowych. Na-

Tabela 1

### Zestawienie wielkości zasobów energii geotermalnej na Niziu Polskim

Compilation of geothermal energy resources in the Polish Lowlands

Zbiornik termalny	Powierzchnia	Zasoby			
		statyczne	statyczne wydobywalne	dyspozycyjne	
	[km <sup>2</sup> ]			[J]	[J]
Dolnokredowy	127 872,6	4,23E+20	6,59E+19	24 235,8	3,95E+17
Górnourajski	197 841,5	2,37E+21	3,04E+20	7 409,0	2,54E+17
Środkowourajski	204 867,8	8,44E+20	1,44E+20	35 637,1	8,90E+17
Dolnourajski	160 398,2	2,99E+21	5,64E+20	81 389,8	1,88E+18
		dla wsp. obciążenia LF = 0,7		71 548,0	1,80E+18
		dla wsp. obciążenia LF = 0,4		52 464,0	1,54E+18
Górnotriasowy	178 148,5	1,15E+21	2,35E+20	29 776,0	1,14E+18
Dolnotriasowy	228 758,0	2,74E+21	6,13E+20	38 839,0	1,73E+18
Niż Polski/mezozoik	–	1,05E+22	1,93E+21	–	6,28E+18
Dolnopermski	101 912,9	1,70E+21	4,53E+20	28 613,1	2,03E+18
Karboński	46 708,7	4,87E+20	1,04E+20	10 375,4	5,26E+17
Dewoński	48 424,4	1,84E+21	4,15E+20	7 304,2	3,74E+17
Niż Polski/paleozoik	–	4,03E+21	9,72E+20	–	2,93E+18
Niż Polski	272 126,3	1,45E+22	2,90E+20	–	9,21E+18

klądy inwestycyjne dotyczą m.in.: odwiertów wraz z systemem wydobywczym i pomiarowym, instalacji wymienników ciepła, pomp, rurociągu przesyłowego, budynków oraz związanych z inwestycją prac inżynierskich. Po stronie kosztów uwzględnia się również nakłady kapitałowe fazy przedprodukcyjnej, a także nakłady nieprzewidziane i koszty eksploatacji instalacji geotermalnej w fazie produkcyjnej.

Dokonanie powyższych analiz umożliwia wskazanie obszarów zbiornika wód termalnych, w rejonie których potencjalnie możliwa jest efektywna ekonomicznie eksploatacja zakumulowanej energii cieplnej.

Sumaryczne zasoby dyspozycyjne energii geotermalnej na Niżu Polskim, obejmujące energię zakumulowaną w dziewięciu zbiornikach termalnych, wynoszą  $9,21 \times 10^{18}$  J/rok (tab. 1), co odpowiada 2,2108 toe/rok.

Wielkość obliczonych zasobów dyspozycyjnych na Niżu Polskim można korelować z wartością zasobów dyspozycyjnych energii geotermalnej obliczoną dla obszaru Europy przez Cataldi (Cataldi, 1993), który szacuje wiel-

kość tych zasobów (*geothermal reserves*) na  $6,0 \times 10^{19}$  J/rok ( $1,43 \times 10^9$  toe/rok).

Na obszarze Niżu Polskiego zakumulowane jest więc ok. 15% zasobów dyspozycyjnych energii geotermalnej Europy (powierzchnia Polski stanowi ok. 19% pow. Europy<sup>2</sup>).

Przy założeniu, że wykorzystane zostanie 1,5–2,5% zasobów dyspozycyjnych, wielkość zasobów eksploatacyjnych wyniosłaby  $1,38\text{--}2,30 \times 10^{17}$  J/rok ( $3,3\text{--}5,5 \times 10^6$  toe/rok). Potencjał energetyczny zgromadzony w wodach termalnych na Niżu Polskim, wyrażony wielkością zasobów eksploatacyjnych, stanowi równowartość 300–500 instalacji geotermalnych, z których każda uzyskuje rocznie około 500 TJ energii. Zakładając, że średnie zapotrzebowanie na ciepło, czy też zużycie energii na ogrzanie budynku piętrowego o powierzchni ok. 150 m<sup>2</sup>, w skali roku wynosi ok. 540 MJ/m<sup>2</sup>/rok (Rubik, 2006), to szacowane zasoby eksploatacyjne powinny zapewnić energię wystarczającą do ogrzania od ok. 1,7 do 2,8 mln budynków mieszkalnych.

## PODSUMOWANIE

Wyniki obliczeń zasobów energii geotermalnej potwierdzają, że na obszarze Niżu Polskiego zakumulowany jest znaczący, niewykorzystany potencjał energetyczny związany z wodami wgłębными, występującymi w profilu geologicznym skał wieku paleozoicznego i mezozoicznego. Znaczne zasoby geotermalne, związane są z wodami o zróżnicowanych temperaturach od 20 do ponad 80–100°C. Wody termalne mogą być wykorzystane w szerokim zakresie do celów grzewczych w pomieszczeniach gospodarczych, budownictwie indywidualnym i komunalnym, a także przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Analiza warunków występowania wód termalnych na Niżu Polskim wskazuje, że wykorzystanie ciepłych wód do celów grzewczych powinno, w pierwszej kolejności, opierać się na zasobach dolnojurańskiego i dolnokredowego zbiornika hydrotermalnego. Z powyższymi poziomami wodonośnym należy wiązać również potencjalne możliwości kompleksowego wykorzystania zasobów geotermalnych w zasięgu poszczególnych województw i miast centralnej Polski. Z geologicznego i finansowego punktu widzenia, najbardziej korzystne lokalizacje przyszłych inwestycji geotermalnych to przede wszystkim obszary zlokalizowane w obrębie niecki mogileńsko-łódzkiej, a w mniejszym stopniu również w obrębie niecek: warszawskiej i szczecińskiej. Po-

tencjał energetyczny związany z wodami termalnymi występującymi na Niżu Polskim daje znacznie większe techniczne możliwości rozwoju, zarówno w zakresie ciepłownictwa, jak i balneoterapii oraz rekreacji. Ponadto, wykorzystanie wód termalnych może w wielu miejscach przynieść wymierne efekty ekonomiczno-społeczne.

Teoretyczny, niewykorzystany potencjał zasobów termalnych na Niżu Polskim jest znaczny i stanowi równowartość 300–500 instalacji geotermalnych, z których każda mogłaby uzyskać rocznie ok. 500 TJ ciepła.

Należy jednakże pamiętać, że wdrażane technologie geologicznej sekwestracji CO<sub>2</sub>, w tym realizowany krajowy program pt.: „Rozpoznanie formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO<sub>2</sub> wraz z ich programem monitorowania”, mogą wydatnie zmniejszyć perspektywiczny obszar wykorzystania złóż wód termalnych na Niżu Polskim. Wytypowane rejonu Niżu Polskiego, w których planuje się budowę instalacji składowania CO<sub>2</sub> są bowiem zlokalizowane w strefach charakteryzujących się szczególnie korzystnymi warunkami hydrogeologicznymi dla akumulacji wód termalnych.

*Do badań wykorzystano program komputerowy ZMAP-Plus, firmy Landmark Graphics Corporation (Agreement No. 2003-COM-020272).*

<sup>2</sup> Bez europejskiej części Rosji Europa zajmuje 6 mln km<sup>2</sup>

## LITERATURA

- BUJAKOWSKI W., 2006 — Opis funkcjonujących instalacji geotermalnych w Polsce. *W: Atlas zasobów geotermalnych na Niziu Poskim – formacje mezozoiku* (red. W. Górecki). Ministerstwo Środowiska. Zakł. Sur. Energ. AGH, Kraków.
- CATALDI R., 1993 — Problemy środowiska i kosztów zagospodarowania energii geotermalnej. *Tech. Poszuk. Geol.*, **5/6**.
- GOSK E., 1982 — Geothermal resources assesment. *W: Geothermics and geothermal energy* (red. V. Čermak, R. Haenel). Schweizerbartshe Verlagsbuchhandlug, Stuttgart.
- GÓRECKI W., KOZDRA T., KUŹNIAK T., MYŚKO A., STRZETELSKI W., 2003 — Geothermal-energy resources in the Polish Lowlands and the possibility of their industrial utilization. *Applied Energy*, **74**, 1/2: 53–64.
- GÓRECKI W. (red.), 2006a — Atlas zasobów geotermalnych na Niziu Poskim – formacje mezozoiku. Ministerstwo Środowiska. Zakł. Sur. Energ. AGH, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.), 2006b — Atlas zasobów geotermalnych na Niziu Poskim – formacje paleozoiku. Ministerstwo Środowiska. Zakł. Sur. Energ. AGH, Kraków.
- HAENEL R., STAROSTE, E., 2002 — Atlas of geothermal resources in Europe. Hannover, Germany.
- MUFFLER L.J.P., CATALDI R., 1978 — Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*, **7**, 2–4: 53–89.
- RUBIK M., 2006 — Pompy ciepła. Poradnik. Wyd. Ośr. Inf. „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa.
- SZARGUT J., 1990 — Zasoby energii geotermalnej w Polsce. *Gosp. paliwami i energią*, **7**.