

Wody geotermalne na Niżu Polskim

Wojciech Górecki¹



Geothermal waters in the Polish Lowlands. *Prz. Geol.*, 58: 574–579.

Abstract. The paper presents an outline of studies on the potential for utilization of geothermal waters and energy from sedimentary basins of the Polish Lowlands. The history of geothermal investigations in this region was described. High- and low-temperature geothermal systems in the world and in Europe were characterized. Occurrence of geothermal waters in Poland was portrayed. Basic parameters of the waters and factors controlling economically justified exploitation of geothermal waters were discussed. Low-temperature heating systems with heat pumps were characterized. Resources of geothermal waters and energy in Poland represent average European values and are estimated at about 2.9×10^{17} J/km², that is similar to resources in Spain and France or United Kingdom. Higher water temperatures at comparable depths occur in southern part of Europe, especially in Hungary and Italy, which results from particularly advantageous relationship between geological and thermal parameters. Basic geothermal water resources in the Polish Lowlands are related to the Mesozoic aquifers. The geothermal waters are accumulated in sandy formations of Lower Cretaceous and Lower Jurassic. Considerable geothermal energy resources are accumulated in waters of the Upper Jurassic, Middle Jurassic, Upper Triassic and Lower Triassic aquifers. Research projects completed in the last years by a team from the Department of Fossil Fuels, AGH – University of Science and Technology, enabled assessment of geothermal potential related to water-bearing deposits of the Paleozoic formation from Cambrian up to Permian. The low-temperature heating systems with heat pumps were described. They have wider and wider application in Poland for heating individual houses, apartment blocks, municipal buildings and sacral architecture objects. Low operating costs of the low-temperature systems and quick return of investment expenditures are worth to notice.

Keywords: geothermal systems, history of investigations, economic feasibility, shallow geothermal systems

Zasoby wód i zawartej w nich energii geotermalnej w Polsce mieszczą się w przedziale średnich wartości europejskich i wynoszą około $2,9 \times 10^{17}$ J/km², podobnie jak w Hiszpanii, Francji czy Wielkiej Brytanii. Wyższe temperatury wód na porównywalnych głębokościach występują na południu Europy, m.in. na Węgrzech i we Włoszech, co wynika ze szczególnie korzystnych relacji parametrów geologicznych i termicznych w tych rejonach.

Podstawowe zasoby wód geotermalnych na Niżu Polskim związane są z warstwami wodonośnymi mezozoiku. Wody geotermalne zakumulowane są w formacjach piaszczystych dolnej kredy i dolnej jury (Ney & Sokołowski, 1987; Sokołowski, 1987; Górecki, 1990, 1995). Znaczne zasoby energii geotermalnej występują w wodach zbiorników: górnourajskiego, środkowourajskiego, górnotriasowego i dolnotriasowego (Górecki, 2000).

Prace badawcze, przeprowadzone w ostatnich latach przez zespół Katedry Surowców Energetycznych Akademii Górniczo-Hutniczej, pozwoliły na rozpoznanie potencjału geotermalnego, zgromadzonego w wodonośnych utworach paleozoiku od kambru do permu (Górecki, 2006).

Identyfikacja warunków geotermalnych skał wieku paleozoicznego stanowi istotne uzupełnienie wiedzy na temat krajowych zasobów energii geotermalnej na Niżu Polskim. Uzyskane wyniki dają nowe możliwości rozwoju geotermii i dziedzin pokrewnych (balneologia, rekreacja itd.) w rejonach leżących poza obszarami występowania ciepłych wód podziemnych formacji mezozoicznych.

Charakterystyka systemów geotermalnych

Wysokotemperaturowe systemy geotermalne na świecie. Energia geotermalna jest wewnętrznym ciepłem Ziemi, zakumulowanym w systemach hydrotermalnych lub suchych skałach w takich ilościach, które tworzą zasoby energii. Zbiorniki geotermalne złożone są ze skał o wyso-

kiej porowatości i przepuszczalności, co sprzyja akumulacji dużych ilości wód i zawartej w nich energii. Szacuje się, że gdybyśmy dysponowali odpowiednimi technologiami do wykorzystania wód geotermalnych i energii geotermalnej na wielką skalę do produkcji elektryczności i ciepła, to zasoby pochodzenia geotermalnego, teoretycznie możliwe do wykorzystania, zapewniłyby światu pokrycie zapotrzebowania na energię na kolejne tysiąclecie.

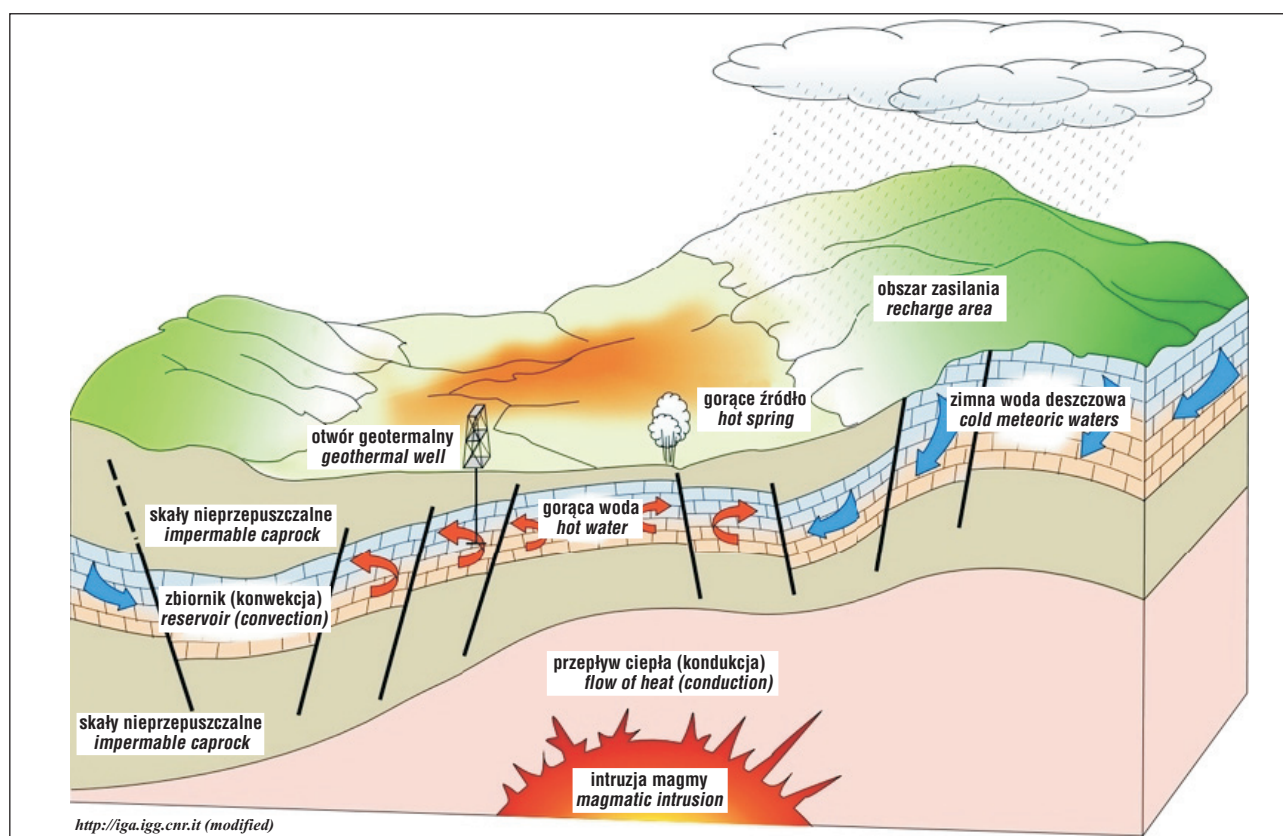
Szczególnie sprzyjające warunki powstania systemów geotermalnych o bardzo wysokich temperaturach istnieją w obrębie płyt litosfery, do których dopływa gorąca magma i w których działają procesy tektoniczne. Potencjał geotermalny aktywnych krawędziowych stref płyt litosfery pozostaje w prostej relacji do anomalnie wysokich wartości strumienia ciepłego, spowodowanego przez intensywny magmatyzm i wulkanizm. W takich strefach na głębokościach od kilkuset do kilku tysięcy metrów znajdują się, w skałach zbiornikowych, złoża pary wodnej o temperaturach powyżej 150°C (ryc. 1). Stwierdzane są one na powierzchni Ziemi w postaci źródeł i gejzerów.

Przykładem wykorzystania wysokotemperaturowej energii geotermalnej są takie kraje jak Filipiny, Meksyk, USA, Włochy i Islandia. W Islandii wykorzystuje się wody i pary o temperaturze mniejszej od 150°C na głębokości średnio 1000 m. Pary o temperaturze powyżej 200°C występują na głębokościach z reguły powyżej 1000–1500 m. Wykorzystywane są do produkcji energii elektrycznej. Wody geotermalne niskotemperaturowe używane są w ciepłownictwie (90% mieszkańców Islandii podłączonych jest do geotermalnej sieci ciepłowniczej), balneologii, rekreacji, do celów technologicznych oraz w przemyśle spożywczym.

Islandia jest przykładem kraju, gdzie wody i pary geotermalne występują w zbiornikach podziemnych stosunkowo płytko i ich wykorzystywanie jest opłacalne ekonomicznie. Kraj ten zawdzięcza nieskażone środowisko naturalne i międzynarodową promocję w zakresie turystyki i balneologii sektorowi geotermalnemu (Kępińska, 2005).

Niskotemperaturowe systemy geotermalne w Europie. Systemy niskotemperaturowe (20–150°C) są powszechne

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



Ryc. 1. Rejon strumienia pary geotermalnej wraz z jego elementami: obszar zasilania, nieprzepuszczalny nadkład, zbiornik i źródło ciepła (Barbier, 1997)

Fig. 1. A geothermal steam field with its elements: recharge area, impermeable cover, reservoir and heat source (Barbier, 1997)

i występują na znacznie większych obszarach w porównaniu z systemami wysokotemperaturowymi.

Największe złoża wód geotermalnych, które są eksploatowane na kontynencie europejskim, znajdują się w basenie paryskim (Francja), w basenie panońskim (położonym na terenie kilku państw: Węgier, Serbii, Słowacji, Słowenii i Rumunii), w rejonie Niżu Europejskiego (m.in. w Niemczech, Danii i Polsce), w paleogeńskich basenach Karpat wewnętrznych (Polska i Słowacja), a także w alpejskich i starszych strukturach południowej Europy (Bułgaria, Rumunia, Grecja i Turcja).

Wody geotermalne w Polsce. Polska, podobnie jak i inne kraje środkowej i zachodniej Europy, leży poza strefami współczesnej aktywności tektonicznej i wulkanicznej, stąd też uzyskanie złóż pary o dużej wydajności wykorzystywanej do produkcji energii elektrycznej praktycznie nie jest u nas możliwe. Posiadamy natomiast naturalne baseny sedimentacyjno-strukturalne wypełnione wodami geotermalnymi o zróżnicowanych temperaturach. Udokumentowane temperatury eksploatacyjne tych wód wynoszą 20–96°C. Istnieją możliwości rozpoznania dalszych zasobów eksploatacyjnych wód geotermalnych o temperaturach 80–100°C, a w skrajnych przypadkach przewyższających 100°C i wysokich wydajnościach. W Polsce bezwzględna wartość temperatury wód z determinowana jest powierzchniowymi zmianami intensywności normalnego strumienia ciepłego Ziemi. Wartość strumienia ciepłego waha się od 25–40 mW/m² na obszarze platformy prekambryjskiej do 50–90 mW/m² w obrębie platformy paleozoicznej i 50–80 mW/m² w rejonie alpejskiego orogenu Karpat.

Zasoby energii związane są z wodami podziemnymi występującymi na różnej głębokości w obrębie jednostek geologicznych: Niżu Polskiego, Karpat, zapadliska przedkarpackiego i Sudetów. Wody i energia geotermalna mogą być wykorzystane do różnorodnych celów, co ilustruje wykres przedstawiony na rycinie 2.

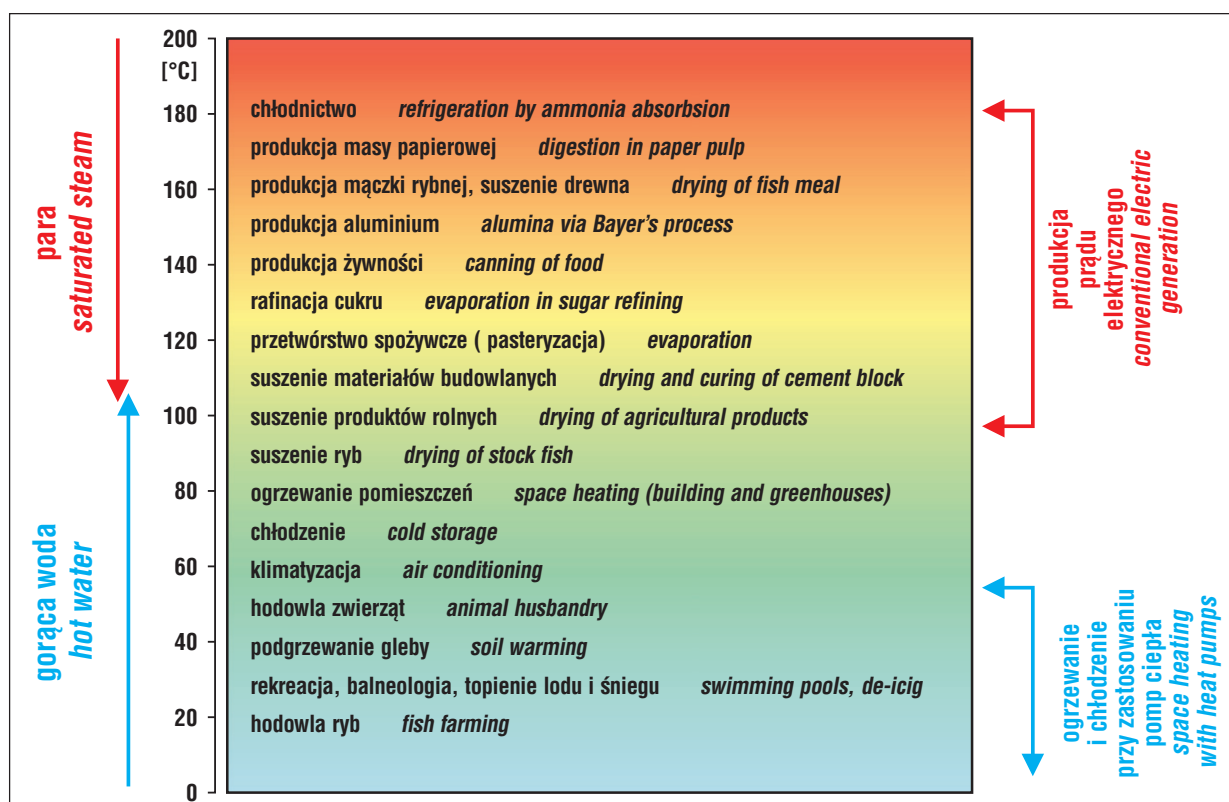
Pozytywne cechy zasobów geotermalnych są powszechnie znane, zalicza się do nich:

- ❑ odnawialność i niezależność od zmiennych warunków klimatycznych i pogodowych;
- ❑ możliwość wielokierunkowego wykorzystania zasobów wody i energii geotermalnej;
- ❑ niską wrażliwość na wzrost cen nośników energii;
- ❑ możliwość użytkowania bez powodowania zakłóceń w środowisku naturalnym;
- ❑ „czystość ekologiczną”, co jest istotne w związku z rygorystycznymi normami UE w zakresie ochrony środowiska, jak również i z tymi, które zostaną wprowadzone w przyszłości.

Stąd też z biegiem czasu będzie systematycznie rosła konkurencyjność energii geotermalnej w porównaniu do tradycyjnych form pozyskiwania energii ze źródeł konwencjonalnych i nieodnawialnych.

Badania w zakresie rozpoznawania i wykorzystywania wód geotermalnych

Badania w zakresie geotermii rozwinęły się w latach sześćdziesiątych XX w. i dotyczyły podstawowej problematyki związanej z rozkładem pola geotermicznego w obrębie jednostek geologicznych Polski. Synteza tych badań została przedstawiona przez J. Majorowicza i S. Plewę na mapie strumienia ciepłego Europy (Čermak, 1979)



Ryc. 2. Diagram Lindala (1973)

Fig. 2. Lindal diagram (1973)

oraz w licznych publikacjach i opracowaniach, których spis został przedstawiony w przeglądzie literatury geotermalnej sporządzonym pod redakcją Góreckiego (2006).

Na szczególną uwagę zasługuje pionierska działalność Państwowego Instytutu Geologicznego, prowadzącego badania geologiczne i wiertnicze formacji geologicznych, mające na celu rozpoznanie zasobów wód geotermalnych na Niżu Polskim. Wyniki badań zostały przedstawione w licznych publikacjach i opracowaniach (m.in. Paczyński, 1976, 1977; Płochniewski, 1985; Bojarski i in., 1979; Bojarski, 1985). Na podkreślenie zasługują publikacje Dowgiałły, który analizował perspektywy występowania wód geotermalnych w Polsce (Dowgiałło, 1972) oraz możliwości ich wykorzystania do celów balneologicznych (Dowgiałło i in., 1969).

Znaczący wkład w rozwój geotermii na Niżu Polskim wniosły zespoły badawcze z Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk z Krakowa i Politechniki Szczecińskiej, co znalazło odzwierciedlenie w licznych publikacjach (m.in. Ney & Sokołowski, 1987; Sokołowski, 1988, 1997, 1998; Ney, 1992, 1997; Meyer & Sobański, 1993; Meyer, 1994; Sobański & Nowak 1994; Nowak & Sobański, 1995; Sobański & Kabat, 1996; Kabat & Sobański, 1998, 2000; Bujakowski, 1999, 2004; Pająk, 2000; Kępińska & Łowczowska, 2002; Kępińska, 2004, 2005; Kozłowski & Malenta, 2004; Nowak & Borsukiewicz-Gozdur, 2004).

Pierwsze prace badawcze związane z wykorzystaniem gorących wód podziemnych i energii geotermalnej do celów utylitarnych podjęte zostały w latach osiemdziesiątych XX w. w Instytucie Surowców Energetycznych Akademii Górniczo-Hutniczej. W latach 1984–1987 w ramach programu badawczo-rozwojowego, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, prowadzono badania regionalne nad możliwością wyko-

rzystania wód geotermalnych z utworów dolnojurajskich na Niżu Polskim oraz z utworów paleogeńskich, neogeńskich i mezozoicznych Karpat. Zostały wstępnie rozpoznane i oszacowane zasoby wód geotermalnych w Polsce na podstawie wyników wierceń przemysłu naftowego (Ney & Sokołowski, 1987).

Przełomowym momentem w rozwoju badań nad praktycznymi aspektami wykorzystania wód i energii geotermalnej w Polsce było włączenie w 1987 r. z inicjatywy R. Neya problematyki *Wykorzystania ciepła wód geotermalnych* do Centralnego Programu Badawczo-Rozwojowego (finansowanego przez Urząd Postępu Naukowo-Technicznego i Wdrożeń) pod nazwą *Ciepłownictwo i systemy ciepłownicze*.

Realizatorem programu został Instytut Surowców Energetycznych Akademii Górniczo-Hutniczej, a koordynatorem badań W. Górecki.

Zasadnicze cele badawcze i wdrożeniowe obejmowały m.in.:

- wybór optymalnych stref i złóż z punktu widzenia budowy zakładów geotermalnych;
- opracowanie metod obliczania i oceny zasobów energii cieplnej zawartej w wodach geotermalnych;
- opracowanie technologii zagospodarowania złóż wód geotermalnych, a w szczególności technologii wiercenia, udostępnienia i eksploatacji oraz metod zatłaczania wód wykorzystanych;
- budowę pilotażowo-doświadczalnych zakładów geotermalnych w niecce podhalańskiej i na Niżu Polskim.

Środki finansowe tego programu umożliwiły sformułowanie programu badawczo-wdrożeniowego związane go z wykorzystaniem wód geotermalnych z poziomu eoceńskiego na Podhalu. W ramach programu wykonane zostały geotermalne otwory wiertnicze, w tym odwiert Biały

Dunajec PAN-1, co stworzyło podstawy budowy Doświadczalnego Zakładu Geotermalnego Bańska-Białe Dunajec (Sokołowski, 1987). Następnie wykonano otwory: Poronin PAN-1 i Furmanowa PIG-1. Znaczny wzrost kosztów wierceń w latach 1988 i 1989 spowodował, że przeważającą część nakładów finansowych przeznaczonych na cele badawcze na Niżu Polskim wykorzystano na realizację wierceń na Podhalu. Decyzją Urzędu Postępu Naukowo-Technicznego i Wdrożeń w Warszawie w 1989 r. wyodrębniono wdrożeniowy program badawczy WJP nr 495 pod nazwą *Doświadczalny Zakład Geotermalny Białe Dunajec* realizowany w Centrum Podstawowych Problemów Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk w Krakowie i koordynowany przez Juliana Sokołowskiego.

Realizując w latach 1987–1990 w Akademii Górniczo-Hutniczej program badawczy na Niżu Polskim, opracowano zasady oceny zasobów geotermalnych, uwzględniając metodykę i klasyfikację stosowaną w krajach Unii Europejskiej. Opisano warunki hydrogeologiczne, geotermiczne i chemizm wód zbiornika dolnokredowego i dolnojurańskiego. Istotnym elementem badań była problematyka techniki i technologii wierceń otworów eksploatacyjnych i zatłaczających oraz ocena efektywności ekonomicznej pozyskania energii geotermalnej.

Badania nad wodami i energią geotermalną, prowadzone w latach osiemdziesiątych w Akademii Górniczo-Hutniczej, znalazły odzwierciedlenie w licznych publikacjach, opracowaniach i organizowanych konferencjach. Podsumowaniem badań było opublikowanie *Atlasu wód geotermalnych na Niżu Polskim* (Górecki, 1990). Działania te miały na celu przybliżenie możliwości wykorzystania wód i energii geotermalnej społecznościom lokalnym, władzom samorządowym i potencjalnym inwestorom.

W 1987 r. utworzono, w Instytucie Surowców Energetycznych AGH, Zakład Geotermii z interdyscyplinarnym zespołem specjalistów z zakresu geologii, hydrogeologii, geochemii, sejsmiki, geofizyki wiertniczej, wiertnictwa, ciepłownictwa, aplikacji komputerowych i ocen ekonomicznych. W Zakładzie Geotermii prowadzi się badania podstawowe i wdrożeniowe dotyczące rozpoznania optymalnych stref geotermalnych w basenach sedymentacyjnych Polski, metodyki oceny zasobów, eksploatacji i zatłaczania wód, obliczeń efektywności ekonomicznej i projektowania instalacji geotermalnych. Równocześnie utworzono specjalność Odnawialne Źródła Energii, co umożliwiło m.in. kształcenie specjalistów w zakresie geotermii.

Z inicjatywy Instytutu Surowców Energetycznych AGH i Państwowego Instytutu Geologicznego wykonano w niecce mogileńsko-łódzkiej dwa otwory wiertnicze w miejscowości Uniejów (Uniejów AGH-1 i Uniejów AGH-2). Część projektową, techniczną i technologiczną związaną z wykorzystywaniem ciepła wód geotermalnych w Uniejowie wykonali specjaliści Głównego Biura Studiów i Projektów Energetycznych *Energoprojekt* w Warszawie i Instytutu Surowców Energetycznych AGH (Chmielecki & Drabent, 1989; Chrzastowski i in., 1989; Górecki, 1989; Górecki & Kuźniak, 1989; Górecki & Soboń, 1989; Bojarski & Sokołowski, 1991; Górecki, 1993). Powyższe prace umożliwiły w następnych latach zbudowanie zakładu geotermalnego w Uniejowie.

W latach 1990–1995 w Zakładzie Surowców Energetycznych AGH prowadzono systematyczne badania nad oceną zasobów wód i energii geotermalnej. Realizowano projekt badawczy finansowany przez Komitet Badań Naukowych pt. *Określenie odnawialnych zasobów energii*

geotermalnej na Niżu Polskim. Podsumowanie badań opublikowano w 1995 r. w *Atlasie zasobów energii geotermalnej na Niżu Polskim* (Górecki, 1995).

W latach 1999–2001 zespół badawczy Zakładu Surowców Energetycznych AGH współuczestniczył w przygotowaniu edycji *Atlasu zasobów geotermalnych Europy* (Hurter & Haenel, 2002).

W latach 1996–1999 w Zakładzie Surowców Energetycznych AGH prowadzono prace badawcze związane z analizą możliwości budowy zakładów geotermalnych w miastach na Niżu Polskim, w których warunki hydrogeotermalne i lokalny rynek ciepłowniczy gwarantowałyby wykorzystanie wód i energii w sposób ekonomicznie uzasadniony (Górecki, 1996, 1999).

Dokonano wyboru kilkudziesięciu miast, dla których opracowano koncepcję zagospodarowania ciepła wód geotermalnych na drodze trój etapowej selekcji.

Miasta, które znalazły się w grupie do szczegółowej analizy, spełniały następujące warunki:

- ❑ dysponowały dostatecznie dobrymi warunkami hydrogeotermalnymi;
- ❑ posiadały odpowiednich odbiorców ciepła i wyraziły zainteresowanie realizacją przedsięwzięć geotermalnych obecnie lub w przyszłości;
- ❑ obliczony jednostkowy koszt przesyłania ciepła geotermalnego na poziomie ujęcia był niższy od obowiązującej ceny urzędowej na energię cieplną.

W przypadku większości miast zaproponowano koncepcję zagospodarowania ciepła geotermalnego na rzecz odbiorców ciepła w sektorze bytowo-komunalnym, ponieważ sektor ten pochłania około 40% krajowego zużycia energii pierwotnej i jest on obiektem szczególnej uwagi władz samorządowych, będących inicjatorami przedsięwzięć w dziedzinie gospodarki cieplnej. Ponadto, wymagane temperatury mediów grzewczych w tym sektorze pozwalają wykorzystywać wody geotermalne w celach ciepłowniczych, a większość miejskich systemów ciepłowniczych w kraju charakteryzuje się znacznym wyeksploatowaniem i niekorzystnym oddziaływaniem na środowisko naturalne. Proponowane koncepcje zagospodarowania ciepła geotermalnego oparto na zasadzie dostosowania instalacji geotermalnych do istniejących konsumentów energii cieplnej oraz aktualnie funkcjonujących systemów ciepłowniczych.

Główne cele strategiczne koncepcji ciepłowni geotermalnych opracowanych dla miast na Niżu Polskim były następujące (Kotyza, 2006):

- ❑ poprawa stanu środowiska naturalnego w miastach; likwidacja rozproszonych niewydolnych źródeł ciepła bądź modyfikacja istniejących systemów zaopatrzenia w ciepło, w celu ograniczenia emisji zanieczyszczeń pyłowych i gazowych;
- ❑ stabilizacja i ewentualne obniżenie ponoszonych kosztów produkcji energii cieplnej oraz zwiększenie jakości usług ciepłowniczych; stymulowanie dalszego rozwoju miast poprzez rozwój jednego z ważniejszych elementów infrastruktury;
- ❑ stworzenie warunków dla rozwoju dziedzin słabo rozwiniętych bądź nowych, jak np.: ogrodnictwo, balneologia i rekreacja; zagospodarowanie nadwyżek niskotemperaturowego ciepła geotermalnego prowadzące w przyszłości do wzrostu rentowności przedsięwzięć geotermalnych;
- ❑ centralizacja dostaw ciepła w miastach, gdzie jest ona ograniczona bądź nie istnieje, obejmująca głównie budownictwo wielorodzinne, sektor

usługowy oraz część przemysłowego, uporządkowanie gospodarki cieplnej, zwiększenie dostępu do usług ciepłowniczych dla wspólnot miejskich.

W efekcie przeprowadzonych analiz wyróżniono na obszarze niecki mogileńsko-lódzkiej, szczecińskiej i warszawskiej miasta, które posiadają bardzo korzystne warunki geologiczne, hydrogeologiczne oraz odpowiedni rynek odbiorców ciepła dla budowy instalacji geotermalnych.

Jednym z przykładów możliwości wykorzystania wód i energii geotermalnej jest Koło, zlokalizowane nad rzeką Wartą we wschodniej części województwa wielkopolskiego.

Zaprojektowana przez zespół AGH ciepłownia geotermalna współpracująca z kotłami szczytowymi pokryje 80% potrzeb ciepłowniczych miasta w zakresie centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej dla budownictwa wielorodzinnego i ok. 50% tych potrzeb w budynkach użyteczności publicznej. Zasięg obsługi ciepłowni geotermalnej będzie zbliżony do zasięgu obecnie funkcjonującej ciepłowni miejskiej, która po modernizacji stanowić będzie szczytowe oraz rezerwowe źródło ciepła dla miasta. Istnieje możliwość zagospodarowania znacznych nadwyżek ciepła geotermalnego w okresie letnim i wiosenno-jesiennym na potrzeby, np. kompleksu basenów otwartych lub innych odbiorców, co dodatkowo zwiększy efektywność finansową inwestycji.

Zakłada się, że ciepłownia geotermalna będzie pracować przy nominalnych temperaturach zasilania i powrotu, odpowiednio – 130/70°C. W około 82% dostawy ciepła na rzecz odbiorców pochodzić będą z wód geotermalnych, pozostałe 18% ze spalania oleju opałowego. Funkcjonowanie ciepłowni geotermalno-gazowej pozwoli uniknąć spalania 18 000 ton węgla kamiennego rocznie, co doprowadzi do znaczącego obniżenia emisji zanieczyszczeń gazowych i pyłowych w mieście (o ok. 25%).

Oplacalność wykorzystania wód geotermalnych i energii geotermalnej

Na oplacalność wykorzystywania zasobów wód geotermalnych mają wpływ czynniki zależne od warunków hydrogeotermalnych występujących na danym obszarze, w tym:

- wydajność eksploatacyjna wód podziemnych;
- temperatura wód geotermalnych;
- głębokość zalegania warstwy wodonośnej;
- skład chemiczny wody/mineralizacja.

Najważniejszymi czynnikami hydrogeotermalnymi decydującymi o oplacalności budowy zakładu geotermalnego są temperatura i wydajność. Temperatura eksploatacyjna wody wynika z temperatury złożowej, pomniejszonej o wartość spadku temperatury w czasie wydobywania wody na powierzchnię. Niestety wraz ze wzrostem głębokości zarówno rośnie temperatura złożowa, jak i następuje pogorszenie warunków eksploatacyjnych. Wydajność, z kolei, uzależniona jest w znacznej mierze od potencjału hydrodynamicznego. Szczególnie korzystne są tu warunki artezyjskie zapewniające samoczynny wypływ wód na powierzchnię. Pojawiają się one tam, gdzie powierzchnia potencjometryczna swobodnego słupa wody układu się ponad powierzchnią ziemi. Obok wydajności i temperatury liczy się także stopień mineralizacji wód. Ogólnie wiadomo, iż zasolenie wód wgłębnych, a zatem ich ciężar właściwy, rośnie wraz z głębokością występowania horyzontów wodonośnych. Wzrost mineralizacji wód zwiększa ich lepkość, przyczyniając się do zmniejszenia wydajności i wpływając na niekorzystne zwiększenie eksploatacyjnego spadku temperatury. Na tle

tak zarysowanego układu wzajemnych zależności pojawia się zasadniczy dylemat geologiczny: czy poszukiwać wód ciepłych na dużych głębokościach w środkowej części basenu sedimentacyjnego, czy też na małych głębokościach w strefach krawędziowych (Górecki, 2000).

W głęboko pogrążonych strefach centralnych basenu czynnikiem korzystnym jest wysoka temperatura złożowa wód. Występują tutaj wody na ogół wysoko zmineralizowane, a skały wodonośne, reprezentowane przez głębsze facje basenu, poddane zmianom diagenetycznym mają gorsze właściwości zbiornikowe, co ogranicza wydajności i możliwości zatłaczania wody w warstwę chłonną.

Celem eksploatacji geotermalnej jest uzyskanie wód o najwyższej temperaturze złożowej i eksploatacyjnej, maksymalnej wydajności w warunkach artezyjskich i o najniższej mineralizacji.

Na ekonomiczną zasadność wykorzystywania wód i energii geotermalnej mają wpływ koszty wierceń zależne od głębokości występowania warstwy wodonośnej, odległość między miejscami pozyskiwania gorącej wody a użytkownikiem energii geotermalnej, koncentracja zapotrzebowania na ciepło w obszarze jej odbioru i roczny współczynnik obciążenia systemu odbioru energii geotermalnej, co wpływa na jednostkowe koszty produkcji ciepła.

Istotnym czynnikiem, mającym wpływ na rozwój energetyki geotermalnej, jest proekologiczna polityka państwa wyrażana poprzez dostępność środków finansowych na preferencyjnych zasadach, utworzenie funduszu gwarancyjnego na pierwszy otwór wiertniczy, zminimalizowanie opłat za korzystanie z informacji geologicznych i opłat za koncesje.

Płytko geotermia – niskotemperaturowe układy grzewcze z pompami ciepła

System niskotemperaturowych układów grzewczych z pompami ciepła rozwija się na dużą skalę na całym świecie, również w Polsce. Pompa ciepła zamienia energię cieplną zakumulowaną w gruncie lub wodach gruntowych i podziemnych (dolne źródło ciepła) na energię użyteczną służącą do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej (górnego źródła ciepła). System oparty na pompie ciepła wymaga odpowiedniego wykonania dolnego źródła ciepła. Powszechnie stosuje się dwa układy dolnego źródła ciepła (Kotyza, 2006):

układ zamknięty, realizowany w postaci: kolektora gruntowego poziomego w formie rur polietylenowych, wewnątrz których krąży płyn niezamarzający (wodny roztwór glikolu) transportujący ciepło; lub kolektora gruntowego pionowego, wykonanego jako wymiennik w kształcie litery U z polipropylenowych rur wypełnionych niezamarzającym płynem, umieszczanego w pionowych odwiertach o głębokości 15–100 m;

układ otwarty, zbudowany ze studni głębinowych pozwalających na pozyskiwanie energii z wód podziemnych; predysponowany do wykorzystania ze względu na stałą temperaturę, a przez to wysoką roczną zdolność grzewczą; w którym woda po schłodzeniu o 4°C w pompie ciepła zostaje odprowadzona do drugiej studni chłonnej oddalonej o około 15 m.

Wybór optymalnego systemu jest determinowany odpowiednią analizą warunków geologicznych i wielkością zapotrzebowania na ciepło. Niskotemperaturowy układ gruntowy z pompą ciepła znajduje szerokie zastosowanie m.in. do ogrzewania budynków jedno- i wielorodzinnych, budynków komunalnych (szkół, szpitali) i obiektów sakralnych. Wyko-

rzystujemy pompy ciepła do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz w ogrodnictwie, warzywnictwie i rekreacji.

Zastosowanie pomp ciepła umożliwi projektowanie zarówno ogrzewania grzejnikowego (z uzyskanymi temperaturami około 50°C), jak i podłogowego (35°C). Na uwagę zasługuje niski koszt eksploatacji i szybki zwrot nakładów inwestycyjnych.

Wnioski

Dotychczasowe badania i analizy formacji mezozoicznych i paleozoicznych udowadniają, że w wielu miastach Niżu Polskiego możliwe jest wykorzystanie wód i energii geotermalnej pod warunkiem spełnienia następujących kryteriów:

- w obrębie miast znajdują się formacje geologiczne ze zbiornikami geotermalnymi o dostatecznie dobrych warunkach temperaturowych i wydajnościach, co gwarantuje wielokierunkowe wykorzystanie wód i energii geotermalnej (ryc. 2);
- energia uzyskana z wód geotermalnych będzie wykorzystywana w miejscach wydobywania wód; zasoby eksploatacyjne będą więc ograniczone do rejonów miast, rejonów przemysłowych, rolniczych i rekreacyjno-wypoczynkowych;
- ze względu na znaczną kapitałochłonność inwestycji geotermalnych lokalny rynek ciepłowniczy powinien być bardzo atrakcyjny, zdolny do przyciągnięcia inwestorów.

Literatura

- BARBIER E. 1997 – Nature and technology of geothermal energy. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol.1. Elsevier Science.
- BOJARSKI L. 1985 – Wody termalne jury dolnej na Niżu Polskim. [W:] Stan rozpoznania wód termalnych. Mat. Symp. 24–25.10, Kraków.
- BOJARSKI L., PŁOCHNIEWSKI Z. & STACHOWIAK J. 1979 – Wody termalne NE części monokliny przedsudeckiej. *Prz. Geol.* 27, 11: 624–628.
- BOJARSKI L. & SOKOŁOWSKI A. 1991 – Dokumentacja zasobów wód geotermalnych w kategorii C i D z utworów kredy dolnej w rejonie Uniejowa. *Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol.*, Warszawa.
- BUJAKOWSKI W. 1999 – Geothermal Projects in Poland. *Tech. Poszuk. Geol.*, 4–5.
- BUJAKOWSKI W. 2004 – Przegląd wybranych zakładów i projektów geotermalnych w Polsce. [W:] Materiały Międzynarodowych Dni Geotermalnych „Polska 2004”. Wyd. Sigmie PAN, Kraków.
- ČERMAK V. 1979 – Heat Flow Map of Europe. [In:] *Terrestrial Heat Flow in Europe*. Springer Verlag.
- CHMIELECKI A. & DRABENT J. 1989 – Szacunkowe określenie zapotrzebowania ciepła dla miasta Uniejowa oraz wskazanie miejsc usytuowania wymienników optymalnych pod względem ciepłowniczym.
- CHRZĄSTOWSKI J., WĘCŁAWIK S. & RAJCHEL L. 1989 – Prognozy wykorzystania wód termalnych dla celów balneologicznych i ciepłowniczych w rejonie Uniejowa. *Arch. ZSE AGH, Kraków*.
- DOWGIAŁŁO J. 1972 – Występowanie i perspektywy dalszego występowania wód geotermalnych w Polsce. *Balneol. Pol.*, 17.
- DOWGIAŁŁO J., KARSKI A. & POTOCKI I. 1969 – Geologia surowców balneologicznych. *Wyd. Geol.*, Warszawa
- GÓRECKI W. 1989 – Perspektywy i możliwości wykorzystania wód geotermalnych w Polsce. *Zesz. Nauk. AGH, 1293, Geol.*, 44.
- GÓRECKI W. (red.) 1990 – Atlas wód geotermalnych Niżu Polskiego. *Objaśnienia tekstowe*. Wyd. AGH, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.) 1993 – Metodyka oceny zasobów energii wód geotermalnych w Polsce. *Ekspertyza 12/93 MOŚZNIŁ*. Arch. ZSE AGH, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.) 1995 – Atlas zasobów energii geotermalnej na Niżu Polskim. *ZSE AGH i Towarzystwo Geosnoptyków GEOS*, Kraków.
- GÓRECKI W. (red.) 1996 – Studium możliwości inwestycyjnych nad wykorzystaniem energii geotermalnej w zbiornikach dolnojurańskim i dolnokredowym w synklinorium mogileńsko-łódzkim na Niżu Polskim. *Arch. ZSE AGH, Kraków*.
- GÓRECKI W. (red.) 1999 – Modele geotermalne formacji mezozoicznej na obszarze niecki warszawskiej konstruowane z wykorzystaniem systemu Landmark i studium techniczno-ekonomiczne. *ZSE AGH, Kraków*.
- GÓRECKI W. (red.) 2000 – Analiza geologiczna i ocena zasobów wód i energii geotermalnej w formacjach jury środkowej oraz triasu na Niżu Polskim. *Projekt KBN. Arch. ZSE AGH, Kraków*.
- GÓRECKI (red.) 2006 – Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim. *Wyd. AGH, Kraków*.
- GÓRECKI W. & KUŹNIAK T. 1989 – Koncepcja wykorzystania dolnokredowych wód geotermalnych w rejonie miasta Uniejowa. *Spr. CBPR 5.2 kier. nr 5 Kraków, czerwiec 1989 r.*
- GÓRECKI W. & SOBOŃ J. 1989 – Projekt instalacji do zatłaczania wód geotermalnych w zakładzie geotermalnym na obszarze subbasenu szczecińsko-łódzkiego. *Spr. CPBR 5.2. kier. nr 5 Kraków, czerwiec 1989 r.*
- HURTER S. & HAENEL R. (eds.) 2002 – Atlas of geothermal resources in Europe. *Office for the Official Publications of the European Communities, Luxemburg*.
- KABAT M. & SOBAŃSKI R. 1998 – Sposoby zagospodarowania wód geotermalnych w ogrzewnictwie scentralizowanym. *C.O.W. nr 10, październik 1998; nr 11, listopad 1998*.
- KĘPIŃSKA B. 2003 – Current geothermal activities and prospects in Poland an overview. *Geothermics*, 32.
- KĘPIŃSKA B. 2004 – Podhalański system geotermalnych i projekt ciepłowniczy – przegląd problematyki. [W:] *Materiały międzynarodowej konferencji „Międzynarodowe dni geotermalne Polska 2004”*, 13–17 września, Kraków–Skopje.
- KĘPIŃSKA B. 2005 – Światowy Kongres Geotermalny Turcja 2005. *Tech. Poszuk. Geol.*, 6.
- KĘPIŃSKA B. & ŁOWCZOWSKA A. 2002 – Wody geotermalne w lecznictwie, rekreacji i turystyce. *Wyd. IGSMiE PAN*.
- KOTYZA J. 2006 – Zastosowanie niskotemperaturowych układów grzewczych z pompami ciepła. [W:] W. Górecki (red.) *Atlas zasobów geotermalnych na Niżu Polskim*. *Wyd. AGH, Kraków*: 84–86.
- KOZŁOWSKI T. & MALENTA Z. 2004 – Ciepłownia geotermalna w Stargardzie. *Mat. do Atlasu zasobów geotermalnych. Formacja mezozoiczna*. *Arch. ZSE AGH, Kraków*.
- LINDAL B. 1973 – Industrial and other applications of geothermal energy, except power production and district heating. [In:] *Amstead H.C.H. (ed.) Geothermal energy: review of research and development*. Paris, UNESCO, LC, 72-97138: 135–148.
- MEYER Z. & SOBAŃSKI R. 1993 – Pierwszy w Polsce ciepłowniczy zakład geotermalny w Pyrzycach. *Tech. Poszuk. Geol.*, 5–6.
- NEY R. 1992 – Wyniki badań nad możliwościami wykorzystania energii geotermalnej w Polsce. *Nauka Polska*, 4: 37–49.
- NEY R. 1997 – Zasoby energii geotermalnej w Polsce i możliwe kierunki jej wykorzystania. *Seminarium naukowe*. *Wyd. IGSMiE PAN, Kraków – Zakopane*
- NEY R. & SOKOŁOWSKI J. 1987 – Wody geotermalne Polski i możliwości ich wykorzystania. *Nauka Polska*, 6.
- NOWAK W. & BORSUKIEWICZ-GOZDUR A. 2004 – Binary Geothermal Power Plant with Absorption Cooler. [In:] *XIV Internationale Tagung Forschung, Didaktik und Praxis im modern Maschinenbau, Stralsund*.
- NOWAK W. & SOBAŃSKI R. 1995 – Sposoby wykorzystania energii geotermalnej. *II Konf. pt. „Energia odnawialna w ochronie środowiska”*. Szczecin.
- PACZYŃSKI B. 1976 – Atlas zasobów zwykłych wód podziemnych i ich wykorzystanie w Polsce. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- PACZYŃSKI B. 1977 – Regionalizacja ogólna wód podziemnych Polski. *Kwart. Geol.*, 21, 4.
- PAJAŁ L. 2000 – Usage of existing deep bore-holes as heat exchangers. [In:] *Proceedings of the World Geothermal Congress 2000 Kyushu-Tohou, Japan*.
- PŁOCHNIEWSKI Z. 1985 – Występowanie i możliwości wykorzystania wód geotermalnych w niecce mogileńsko-łódzkiej. [W:] *Stan rozpoznania w termalnych*. *Mat. Symp.* 24–25.10, Kraków.
- SOBAŃSKI R. 2000 – Jak pozyskać ciepło z głębi Ziemi? *Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa*. Warszawa.
- SOBAŃSKI R. & KABAT M. 1996 – System geotermalny w Pyrzycach. *Tech. Poszuk. Geol.*, 3–4.
- SOBAŃSKI R. & NOWAK W. 1994 – Ciepłownie geotermalne. [W:] *II Konf. pt. „Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska”*. *Szczyrk*.
- SOKOŁOWSKI J. 1987 – Możliwości wykorzystania wód geotermalnych dla uzupełnienia bilansu energetycznego Polski. *Mat. Konf. Wołomin*.
- SOKOŁOWSKI J. 1988 – Warunki występowania wód geotermalnych w Polsce i program ich wykorzystania na Podhalu. *Tech. Poszuk. Geol.*, 1–2.
- SOKOŁOWSKI J. 1997 – Metodyka oceny zasobów geotermalnych i warunki ich występowania w Polsce. *Mat. Polskiej Szkoły Geotermalnej*. *III Kurs*. *Wyd. PGA i CPPGSMiE PAN, Kraków–Straszecin*.
- SOKOŁOWSKI J. 1998 – Ocena możliwości wykorzystania energii geotermalnej dla ochrony środowiska przyrodniczego w województwie olsztyńskim. *Tech. Poszuk. Geol.*, 3.

Praca wpłynęła do redakcji 22.03.2010 r.
Po recenzji akceptowano do druku 29.04.2010 r.