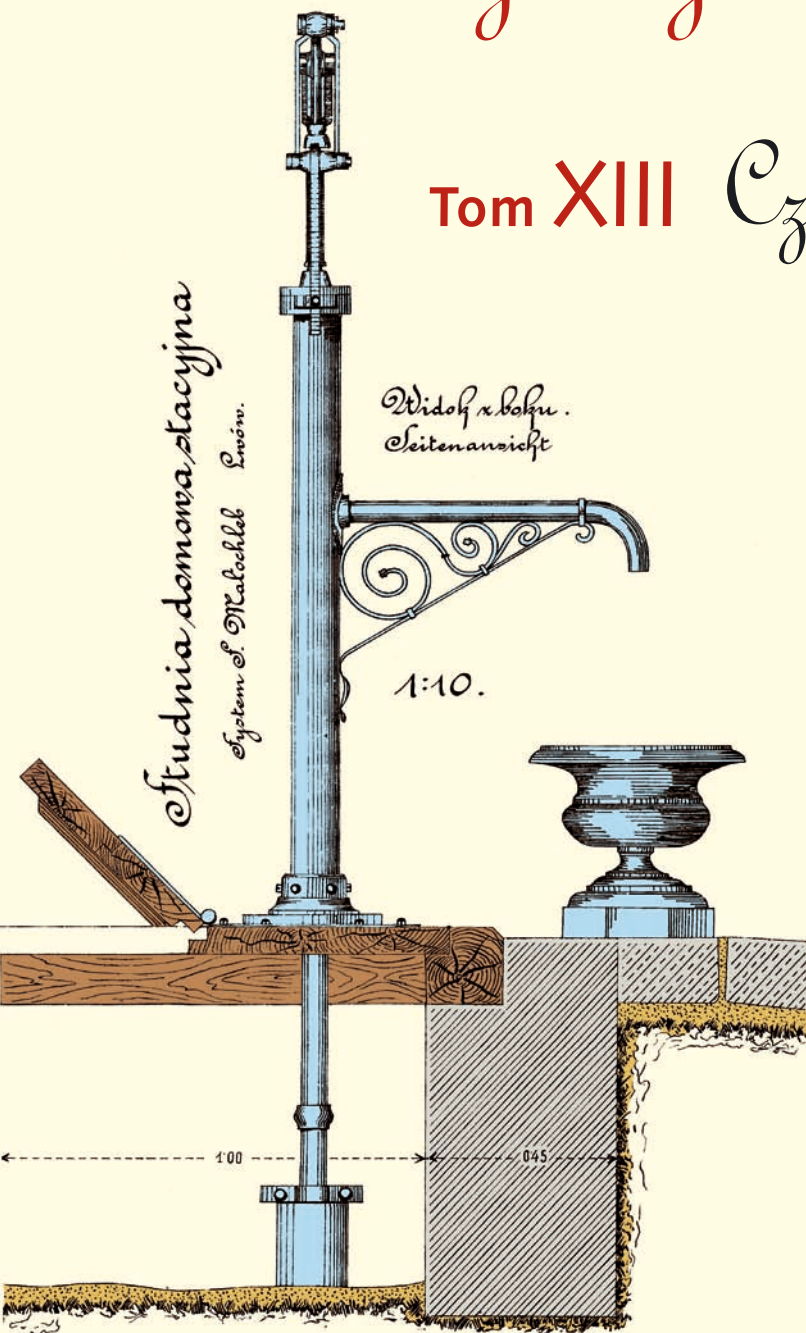


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.





Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska
Wojciech Ciężkowski
Józef Górski
Andrzej Kowalczyk
Ewa Krogulec
Grzegorz Malina
Jerzy Małecki
Marek Marciniak
Jacek Motyka
Marek Nawalany
Jan Przybyłek
Andrzej Rózkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staško
Stanisław Witczak
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespól

Skład komputerowy systemem T_EX: preT_EXt, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Jacek Kapuściński, Andrzej Rodzoch

Geotermia niskotemperaturowa — nowa dziedzina aktywności hydrogeologa

Low Geothermal Energy — the New Domain of Hydrogeological Activity

Słowa kluczowe

ciepło geotermalne, energia odnawialna, odnawialne źródła ciepła, pompy ciepła, gruntowe pompy ciepła (GPC), system otwarty, system zamknięty, systemy horyzontalne, systemy pionowe, magazynowanie ciepła w gruncie, przewodnictwo termalne

Key words

geothermal heat, renewable energy, renewable heat sources, heat pumps, ground source heat pumps (GSHPs), open loop system, closed loop system, horizontal systems, vertical systems, underground thermal energy storage, thermal conductivity

Abstract

Low temperature geothermal energy uses earth or groundwater heat with the help of ground source heat pumps (GSHPs). This domain of renewable energy sources develops very dynamically, but until quite lately without hydrogeologists-commitment. In the future importance of hydrogeologists will grow. Their main tasks will be: in-situ-determination of underground thermal parameters and numerical modelling of heat flow for optimization of number, depth and distance between borehole heat exchangers as well as estimation of geothermal installation's influence on the environment. There is a prognosis of intense growth of Ground Source Heat Pump systems. State should promote the use of geothermal energy as a part of renewable energy sources.

Czym jest geotermia niskotemperaturowa?

Geotermia niskotemperaturowa, zwana też powszechnie geotermią niskiej entalpii (**GNE**), dotyczy wykorzystania ciepła ziemi ograniczonego temperaturą 20°C. Jest to umowna, przyjęta w Polsce wartość, która wynika z relacji do temperatury ciała ludzkiego i możliwości wykorzystania wód podziemnych o tej temperaturze do celów balneologicznych (Dowgiałło i in., 1969). W literaturze światowej i w praktyce innych krajów jako wartość graniczną niskotemperaturowych źródeł geotermalnych przyjmuje się powszechnie temperaturę 30°C, a tę gałąź energetyki określa się mianem geotermii bardzo niskiej entalpii (**GBNE**). Różnica ta nie ma praktycznego znaczenia, gdyż w obu przypadkach do wykorzystania niskotemperaturowego ciepła ziemi niezbędne jest stosowanie urządzeń umożliwiających podniesienie energii na wyższy poziom termodynamiczny zwanych potocznie „*geotermalnymi (gruntowymi) pompami ciepła*” (**GPC**). Konieczność stosowania pomp ciepła jest więc dobrym wyróżnikiem geotermii niskotemperaturowej na tle geotermii wysokiej entalpii, która umożliwia bezpośrednie wykorzystanie energii cieplnej. Ciepło ośrodka skalnego stanowi dla pompy tzw. „dolne źródło ciepła”, które ze względów ekonomicznych zawsze musi znajdować się w miejscu zainstalowania pompy. Dolnym źródłem ciepła mogą być także inne nośniki energii, jak np. powietrze atmosferyczne, wody powierzchniowe, ciepło odpadowe powstające w wielu procesach produkcyjnych i inne. O większej atrakcyjności gruntu i wód podziemnych przesądza jednak ich stabilność temperaturowa i związana z tym wyższa efektywność energetyczna.

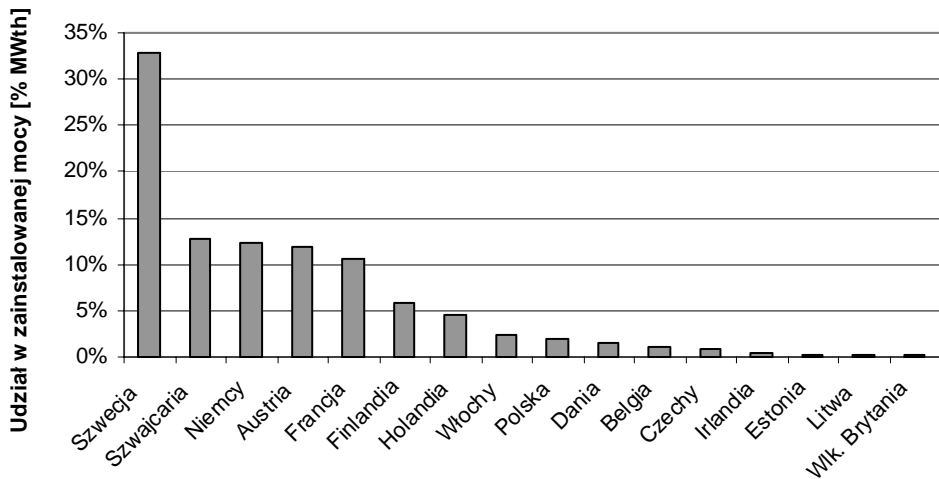
Mimo, że projektowanie i wykonawstwo systemów grzewczych opartych na pompach ciepła jest głównie domeną firm sektora ciepłowniczego, w przypadku instalacji GPC ważną rolę do spełnienia mają także specjaliści z zakresu geologii. Konieczność właściwego rozpoznania warunków geologicznych, hydrogeologicznych i termicznych dla zaprojektowania optymalnego i efektywnego systemu grzewczego stanowi nowy rodzaj aktywności zawodowej hydrogeologów, dla których dotychczas geotermia kojarzyła głównie z poszukiwaniem, rozpoznawaniem i dokumentowaniem zasobów wód termalnych.

Rozwój rynku geotermalnych pomp ciepła

W ostatnich 10 latach geotermia niskiej entalpii wykorzystująca technologię pomp ciepła przeżywa prawdziwy rozkwit, zwłaszcza w Ameryce Północnej i w niektórych krajach Europy Zachodniej. Intensywny rozwój geotermalnych systemów niskotemperaturowych ma miejsce głównie dzięki temu, że są one dostępne już dla niewielkich inwestycji, jak np. osiedla, domy jednorodzinne, domy wczasowe, domy opieki społecznej, budynki biurowe, kościoły, zakłady produkcyjne, itp. Również w Polsce od kilku już lat wykorzystanie niskotemperaturowego ciepła ziemi do celów grzewczych szybko się rozwija, a koszt pozyskiwanego w ten sposób ciepła staje się konkurencyjny w stosunku do konwencjonalnych źródeł energii.

Średni roczny światowy wzrost liczby instalowanych geotermalnych pomp ciepła oceniany jest na około 10% w ciągu ostatnich 10 lat (Lund, 2003) i z roku na rok wyraźnie się zwiększa. Według danych *EurObserv'ER*¹ (biul. XII/2005) w 2004 roku łączna moc zainstalowanych na świecie urządzeń GPC wynosiła około 13 815 MWth, wobec 5 275 MWth w roku 2000 (wzrost ponad 2,6 razy). Ilość energii cieplnej pozyskiwanej z gruntu za pomocą pomp ciepła jest szacowana na około 1,45 Mtoe² w roku 2004, w stosunku do 0,56 Mtoe w roku 2000. Ta sytuacja dotyczy około 30 krajów wiodących w rozwoju technologii GPC, w tym głównie USA, Kanady i państw Unii Europejskiej. W USA liczba instalacji sięga nawet 900 000, a łączna zainstalowana moc grzewcza instalacji GPC jest szacowana na 7 200 MWth (dane wg GHPC³ dla roku 2005).

Niezależnie od szacunkowego charakteru podawanych liczb, co wynika głównie z braku ewidencjonowania urządzeń GPC o niskiej mocy (montowanych przeważnie w domach prywatnych), wymowa przytoczonych danych jest jednoznaczna i świadczy o bardzo dynamicznym rozwoju systemów ciepłowniczych opartych na geotermii niskiej entalpii. Stopień wykorzystania GNE w poszczególnych krajach europejskich pokazuje rysunek 1 (za biuletynem *EurObserv'ER XII/2005*).



Rysunek 1. Procentowy udział zainstalowanej w roku 2004 mocy grzewczej GPC w wiodących państwach europejskich (wg danych *EurObserv'ER XII/2005*)

Figure 1. Installed capacity of GSHP in the European Union countries in 2004 (in percent) (source: *EurObserv'ER XII/2005*)

¹ EurObserv'ER - centrum informacyjne z siedzibą w Paryżu. Wydaje roczny biuletyn informacyjny „European Barometr of Renewables Energies” - www.energies-renouvelables.org.

² Mtoe - jednostka ekwiwalentna energii odpowiadająca zużyciu miliona ton oleju (1 Mtoe=41,868 PJ=10¹⁵ kcal).

³ GHPC - Geothermal Heat Pump Consortium, Inc., Washington - www.geoexchange.org.

Unia Europejska dopiero w ostatnich kilku latach zaczęła dostrzegać i doceniać zalety GNE jako istotnego odnawialnego źródła energii. W nowym programie energetycznym przyjętym przez Komisję Europejską na lata 2005-2008 (ang. *Sustainable Energy Europe, 2005-2008*) założono wybudowanie na obszarze Wspólnoty około 250 000 nowych instalacji GPC. Przy wsparciu funduszy europejskich realizowane są ważne projekty międzynarodowe mające na celu szerokie wypromowanie tej technologii. Polska jak dotąd tylko w niewielkim zakresie włącza się w te działania, choć rynek pomp ciepła rozwija się bardzo dynamicznie. Na tle innych krajów europejskich, gdzie technologia GPC rozwijana jest już od wielu lat, wykorzystanie GNE w Polsce jest ciągle niewielkie. W roku 2004 na nasz kraj przypadało jedynie około 2% zainstalowanych w Europie urządzeń, co plasowało nas na 8 miejscu. Dane te są szacunkowe, ponieważ jak dotąd nie prowadzi się ewidencji instalacji, ani też monitoringu rynku pomp ciepła.

Rodzaje systemów ciepłowniczych opartych na GNE

Geotermalna pompa ciepła, jako urządzenie odzyskujące z otoczenia rozproszoną energię cieplną, stosowana może być w bardzo wielu schematach instalacyjnych. Umowny podział instalacji geotermalnych wyróżnia dwa zasadnicze systemy:

1. **Systemy otwarte**, w których medium przenoszącym ciepło z górotworu do pompy ciepła jest woda podziemna pompowana ze studni. Po oddaniu ciepła woda odprowadzana jest do kanalizacji, wód podziemnych lub powierzchniowych, może być także użytkowana do innych celów (nawadnianie, spożycie itp.). Mimo, że systemy otwarte z energetycznego punktu widzenia są najbardziej efektywne, są one stosunkowo rzadkie z uwagi na skomplikowaną procedurę uzyskiwania wymaganych pozwoleń, a także - w przypadku zatłaczania wody na powrót do górotworu - wykazują poważne ograniczenia techniczne związane z możliwościami chłonnymi otworów.

W systemie otwartym wykorzystywane mogą być także wody pochodzące z odwodnień kopalnianych lub z zatopionych wyrobisk górniczych. Ten typ instalacji może być rozwiązaniem efektywnym z uwagi na temperatury wód z kopalń głębinowych, wyższe z reguły od tych, które uzyskuje się ze studni o głębokości rzędu 100 m. Brak jest informacji o praktycznym zastosowaniu tego rozwiązania w Polsce, niemniej istnieje bogato udokumentowane rozpoznanie pola cieplnego w obrębie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (m.in. Karwasiecka, 1996; Małolepszy, 2002) oraz szereg koncepcji zagospodarowania ciepła pochodzącego z tego źródła (np. Sawicki, 2002; Solik, Małolepszy, 2002). Znany jest ponadto konkretny projekt wykorzystania wód kopalni „Piast” dla zaspokojenia potrzeb łaźni górniczej (Bujakowski i in., 2005).

Możliwe wydaje się również wykorzystanie ciepła zgromadzonego w wyrobiskach górniczych bez konieczności wydobywania wód kopalnianych na powierzchnię. W tym systemie kolektory ciepła mogłyby być instalowane w zatopionych kopalniach, np. w szybach, czy studniach sięgających głębokich partii wyrobisk. Potwierdzenia tej koncepcji nie znaleziono jednak w specjalistycznym opracowaniu poświęconym wykorzystaniu ciepła zgromadzonego w wyrobiskach górniczych pt. „*Energia geotermalna w kopalniach podziemnych*” (Uniwersytet Śląski, 2002).

2. **Systemy zamknięte**, które przenoszą ciepło do pompy ciepła za pomocą kolektora zabudowanego pod powierzchnią ziemi. Medium transportującym jest substancja wypełniająca rury kolektora, krążąca w systemie zamkniętym, tj. bez bezpośredniego kontaktu z otoczeniem. Ze względu na techniczne warunki pozyskania ciepła z ośrodka gruntowo-wodnego systemy zamknięte podzielić można na następujące rodzaje:

- *Instalacje horyzontalne (podpowierzchniowe)*. Kolektor ciepła wykorzystujący ciepło gruntu ułożony jest pod powierzchnią terenu. To rozwiązanie stosowane jest głównie dla potrzeb domów jednorodzinnych z uwagi na prostotę wykonania i stosunkowo niski koszt całej instalacji. Wymagana jest znaczna powierzchnia przeznaczona do zabudowy.
- *Instalacje w otworach palowych fundamentów budynków*. Kolektor ciepła zatapiany jest w otworach palowych o głębokości sięgającej z reguły do 25-30 m (czasem głębiej). Jest to nowa technologia, bardzo szybko rozwijana w ostatnich latach w niektórych krajach - głównie w Szwajcarii, Austrii i Francji. W Polsce nie instaluje się jeszcze palowych wymienników ciepła w fundamentach budynków (lub brak jest na ten temat informacji).
- *Instalacje pionowe w otworach wiertniczych*. Otwór, po umieszczeniu w nim rury kolektora ciepła, zostaje wypełniony gruntem lub masą bentonitowo-cementową. Ten typ instalacji, z uwagi na stosunkowo prosty sposób wykonania i relatywnie niskie koszty w stosunku do uzyskiwanego efektu grzewczego, po systemach horyzontalnych, jest najczęściej stosowanym rozwiązaniem wykorzystania ciepła geotermalnego. W obiektach publicznych, gdzie wymagane są większe moce grzewcze, jest to rozwiązanie dominujące.

W ostatnich latach wraz z systemami zamkniętymi coraz powszechniej stosowane są rozwiązania umożliwiające podziemne magazynowanie energii cieplnej. Wykorzystywane są w nich tzw. rewersyjne pompy ciepła, które służą zarówno do ogrzewania, jak i klimatyzowania pomieszczeń. W okresie letnim, gdy pompa ciepła wykorzystywana jest do chłodzenia pomieszczeń, ciepło odzyskane odprowadzane jest do gruntu i tam gromadzone do wykorzystania w okresie zimowym. Z kolei w zimie następuje schłodzenie gruntu do wykorzystania w okresie letnim. Taki system zwiększa stabilność temperatury dolnego źródła ciepła i podwyższa tym samym efektywność cieplną oraz ekonomiczną instalacji.

Wymogi prawne projektowania i realizacji systemów GNE

Systemy otwarte podlegają identycznym regulacjom prawnym jakie obowiązują przy dokumentowaniu zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych. Po udokumentowaniu zasobów niezbędne jest uzyskanie pozwolenia wodnoprawnego na pobór i na zrzut wód wykorzystanych do cieków powierzchniowych lub do warstwy wodonośnej.

Powszechnie stosowane systemy zamknięte z zabudową kolektora w otworach wiertniczych do niedawna nie podlegały Prawu geologicznemu i górnictwu. Dopiero nowelizacja

ustawy z dnia 22 kwietnia 2005 r. (Dz.U. 2005 Nr 90, poz. 758) objęła swoimi przepisami także ten rodzaj prac geologicznych. Obecnie dla rozpoczęcia prac wiertniczych niezbędny jest projekt prac geologicznych, który podlega zgłoszeniu (a nie zatwierdzeniu) właściwemu organowi administracji geologicznej (starostowie). Prace mogą być wykonywane, dozorurowane i kierowane tylko przez osoby posiadające odpowiednie kwalifikacje (Art. 31.1), a ich wyniki przedstawia się w dokumentacji geologicznej, która jest w 3 egzemplarzach przekazywana staroście powiatowemu (Art. 40, 45). Starosta zobowiązany jest do gromadzenia danych o otworach wykonanych w celu wykorzystania ciepła ziemi (Art. 102).

Taki sposób umiejscowienia w znowelizowanym Prawie geologicznym i górnictwym prac wykonywanych dla wykorzystania ciepła ziemi odpowiada generalnie oczekiwaniom zmierzającym do ewidencjonowania wykonanych instalacji oraz gromadzenia zdobywanych informacji geologicznych. Jednocześnie zapisy ustawy nie krepują przedsiębiorców nadmiernie rozbudowaną procedurą administracyjną. Tego typu kompromis osiągnięto dzięki mniej rygorystycznemu traktowaniu projektów oraz dokumentacji w porównaniu z analogicznymi projektami i dokumentacjami wykonywanymi dla innych prac geologicznych. Różnica polega tu na braku wymogu zatwierdzania projektów i uzyskiwania zawiadomień o przyjęciu dokumentacji, a także na odstępstwie od wymogu sporządzania i zatwierdzania planów ruchu dla wierceń wykonywanych w celu wykorzystania ciepła ziemi (Art. 67a, ust. 1, pkt 3).

Instalacje horyzontalne oraz umieszczane w otworach palowych fundamentów budynków nie podlegają Prawu geologicznemu i górnictwemu, a jedynie przepisom Prawa budowlanego. Projekt techniczny instalacji jest częścią składową projektu budowlanego i może być realizowany po wydaniu decyzji administracyjnej przez organ administracji architektoniczno-budowlanej i nadzoru budowlanego szczebla powiatowego.

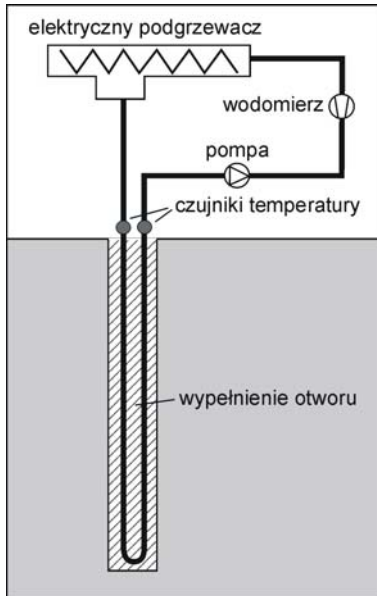
Rola hydrogeologa w procesie inwestycyjnym

Dotychczas, z racji braku wymogów formalno-prawnych, instalacje kolektorów ciepła w systemach zamkniętych przebiegały albo bez udziału geologa, albo z minimalnych jego zaangażowaniem. Przyczyną było powszechne przeświadczenie (słuszne skądinąd), że strumień ciepły ziemi jest ciągły i powszechnie dostępny. Wnioskowano wobec tego, że rozpoznanie geologiczne i hydrogeologiczne przez przystąpieniem do wierceń nie jest potrzebne. Rynek zdominowany został przez instalatorów pomp ciepła, którzy zainteresowani są sprzedażą jak największej liczby urządzeń o jak największej mocy.

Wprowadzenie wymogu projektowania prac i przedstawiania ich wyników w formie dokumentacji geologicznej zwróciło uwagę na silną zależność pomiędzy warunkami litologiczno-tektonicznymi, hydrogeologicznymi i termicznymi górotworu, a końcową efektywnością całej inwestycji. Na naszym rynku jeszcze nie wykonuje się kompleksowego rozpoznania termicznego w otworach w wiertniczych, niemniej jednak, biorąc pod uwagę doświadczenia krajów o dużej tradycji wykorzystania GPC, można zakładać, że badania te staną się ważną, nową dziedziną aktywności hydrogeologów.

Podstawowym parametrem wymagającym rozpoznania jest przewodność cieplna charakteryzowana współczynnikiem przewodności cieplnej właściwej i wyrażana najczęściej w $W/(m \cdot ^\circ C)$. Parametr ten tradycyjnie oznaczany jest w warunkach laboratoryjnych i mimo oczywistych zastrzeżeń co do dokładności otrzymywanych w ten sposób wyników (Szewczyk, 2001), stanowi on podstawę wszelkich zadań obliczeniowych dotyczących transportu ciepła.

Nowym sposobem na pozyskiwanie wiarygodnych danych dotyczących przewodności cieplnej jest badanie „in-situ” wykonywane w otworze przy użyciu ruchomego zestawu pomiarowego. W miejscu planowanej inwestycji geotermalnej wykonuje się otwór pilotażowy, w którym przeprowadza się test. Polega on na iniekcji do wymiennika (rurka U-kształtna) energii cieplnej o znanej wartości. Medium wypełniające wymiennik krąży w obiegu zamkniętym, a iniekcja ciepła, w postaci podgrzewania płynu, prowadzona jest przez cały okres trwania testu. Na powierzchni dokonywany jest pomiar temperatury cieczy wprowadzanej do otworu i go opuszczającej (rys. 2). Dynamika zmian temperatury cieczy jest miarą przewodnictwa cieplnego ośrodka skalnego. Jest to tzw. przewodność cieplna efektywna, tj. uwzględniająca cały ośrodek gruntowo wodny (szkielet skalny, puste przestrzenie, woda, a także materiał wypełniający otwór). Warunkiem otrzymania poprawnych wyników jest odpowiednio długi czas przeprowadzenia testu, aby doprowadzić do zmian temperaturowych nie tylko w obrębie materiału wypełniającego otwór, ale także otaczających skał. Minimalny czas testu określany jest na 48 godzin (Mands, Sanner, 2001).



Rysunek 2. Schemat stanowiska do testu geotermalnego

Figure 2. Installation scheme for a Thermal Response Test

Interpretacja testu geotermalnego dokonywana jest przy użyciu równania przepływu ciepła w funkcji czasu (Busso i in., 2003):

$$T_f(t) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot H \cdot \lambda_{ef}} \left[\ln\left(\frac{4 \cdot a \cdot t}{r^2}\right) - 0,5772 \right] + \frac{Q}{H} R_b + T_0$$

gdzie: T – temperatura płynu [°C]; t – czas [h]; Q – ciepło iniekcji [W];
 H – długość wymiennika ciepła [m]; λ_{ef} – przew. cieplna [W/(m·°C)];
 a – współczynnik dyfuzji termicznej; r – promień otworu [m];
 R_b – oporność cieplna otworu [(m·°C)/W];
 T_0 – naturalna temperatura gruntu przed rozpoczęciem testu [°C].

Powyższe równanie można zapisać w postaci zlinearyzowanej, gdzie parametr „k” jest współczynnikiem kierunkowym prostej na wykresie w skali logarytmicznej (rys. 3):

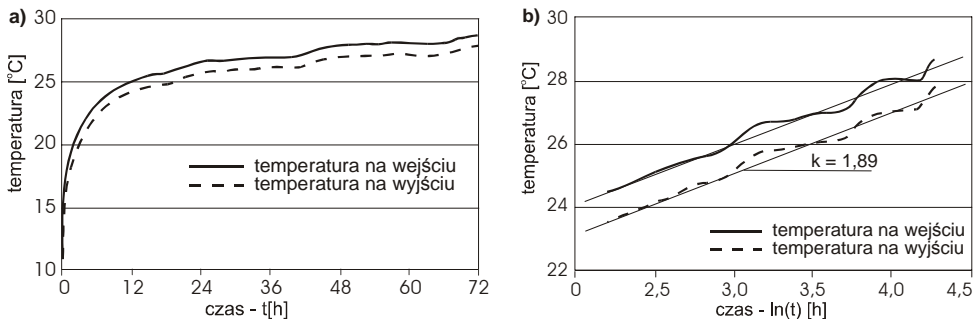
$$T_f(t) = k \cdot \ln(t) + m; \quad k = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot H \cdot \lambda_{ef}}$$

Stąd przewodność cieplną określamy jako:

$$\lambda_{ef} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot H \cdot k}$$

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowy wykres zmian temperatury wlotowej i wylotowej obserwowanej podczas testu przeprowadzonego w Belgii, w miejscowości Mol (wg Mands, Sanner, 2001). Test przeprowadzono w otworze o głębokości 30,5 m i średnicy wiercenia 150 mm. Początkowa temperatura gruntu wynosiła 12,5°C, czas trwania testu wyniósł 71,8 godzin. Otrzymano następujące wartości współczynnika przewodności cieplnej:

- dla temperatury rejestrowanej na wejściu: $\lambda_{ef} = 2,49 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$,
- dla temperatury rejestrowanej na wyjściu: $\lambda_{ef} = 2,48 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$.



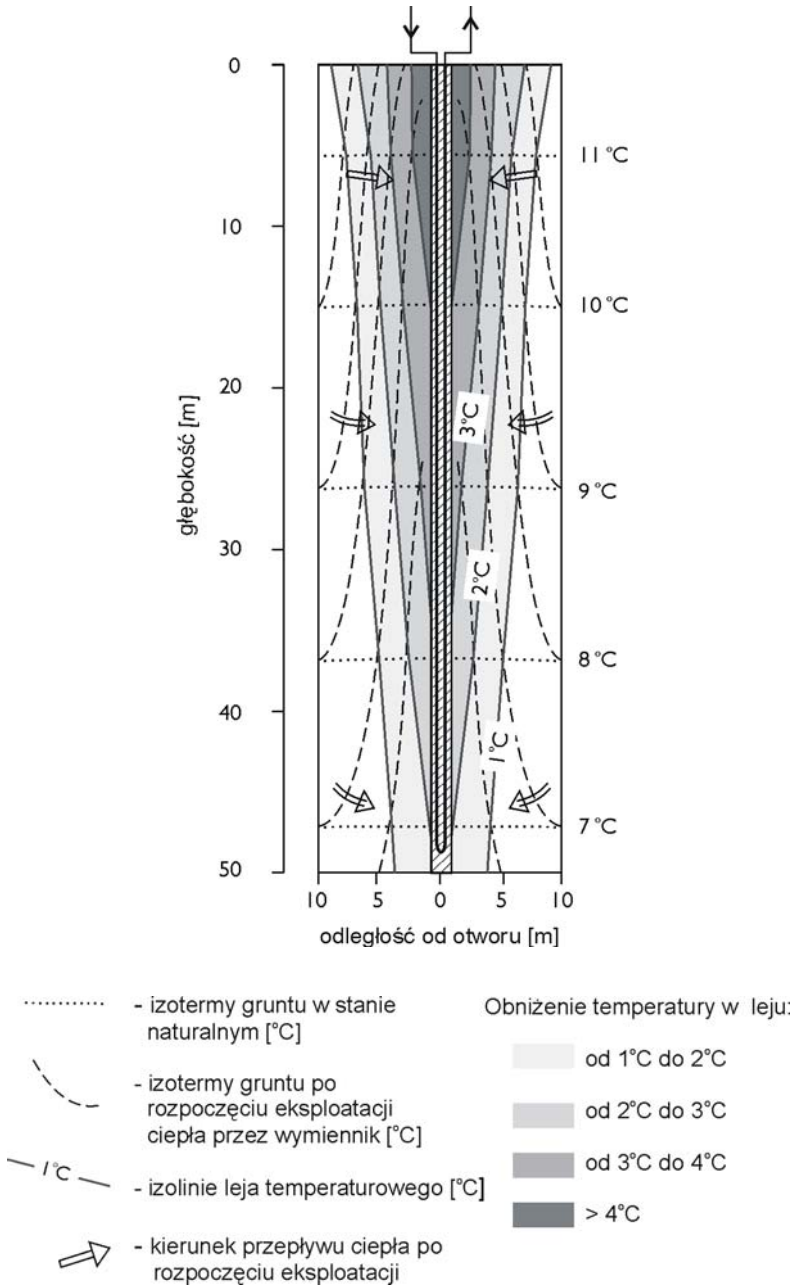
Rysunek 3. Wyniki testu geotermalnego w Mol (Belgia) - wg Mands, Sanner (2001);
 a) zmiany temperatury w czasie; b) wykres interpretacyjny $T=f \ln(t)$

Figure 3. Results of the geothermal test in Mol (Belgium) - source: Mands, Sanner (2001)
 a) Temperature curves; b) Regression line $T=f \ln(t)$

Wiarygodne rozpoznanie przewodnictwa cieplnego umożliwia optymalizację liczby, głębokości oraz wzajemnych odległości otworów składających się na system odzysku ciepła niskiej entalpii. Powszechnie stosowane są modele numeryczne przepływu ciepła w warunkach utworów suchych i zawodnionych, uwzględniające współdziałanie otworów. Szczegółowe rozpoznanie termiczne górotworu zdecydowanie zwiększa wiarygodność tego typu prognoz optymalizacyjnych i w efekcie przynosi inwestorom wymierne korzyści w postaci minimalizacji kosztów inwestycji.

Modelowane przepływu ciepła, poprzedzone szczegółowym rozpoznaniem przewodnictwa cieplnego ośrodka gruntowo-wodnego, umożliwia również ocenę potencjalnych szkód środowiskowych spowodowanych obniżeniem temperatury ośrodka, z którego czerpane jest ciepło. W przypadku najszerszej stosowanych pionowych wymienników ciepła, wokół otworu tworzy się charakterystyczny lej temperaturowy (rys. 4). Na rysunku lej temperaturowy jest symetryczny względem osi otworu i w takiej postaci tworzy się on w utworach niezawodnionych, a więc dotyczy przepływu kondukcyjnego ciepła. Jeśli pionowy wymiennik zainstalowany jest w utworach wodonośnych, to lej temperaturowy nie wykazuje symetrii - jest rozwinięty w dół strumienia wód podziemnych. Przyjmuje się, że kriogeniczne przekształcenia ośrodka gruntowo-wodnego nie stanowią na ogół bezpośredniego zagrożenia dla środowiska. Spadek temperatury przypowierzchniowych partii gruntu w wyniku instalacji systemów GNE może jednak powodować szkody w ekosystemach związanych z środowiskiem glebowym (skrócenie okresu wegetacyjnego, niszczenie szaty roślinnej). Wpływ na środowisko jest więc potencjalnie możliwy, lecz jest on ograniczony terytorialnie i w związku z tym w ustawodawstwie - tak polskim, jak i Unii Europejskiej - przyjmuje się, że nie wymaga on specjalnych unormowań w rozumieniu formalno-prawnym.

Wraz z upowszechnieniem się instalacji geotermalnych niskiej entalpii należy zacząć wymagać rejestracji temperatury w nowo budowanych otworach studziennych oraz w innych otworach wykonywanych np. dla celów geologiczno-inżynierskich. W obecnym stanie rozpoznania pola temperaturowego na obszarze Polski brak jest informacji o zmienności temperatur użytkowych poziomów wodonośnych i jest to poważne utrudnienie przy obliczeniach mocy cieplnej projektowanych instalacji. W krajach, gdzie tego typu systemy stosuje się już powszechnie (np. Francja, Szwajcaria), rozpoznanie i przedstawienie charakterystyki termicznej środowiska skalnego jest warunkiem przyjęcia dokumentacji. W naszych uwarunkowaniach podjęcie tego typu działań możliwe jest poprzez wprowadzenie niewielkich modyfikacji do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 3 października 2005 r. *w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie* (Dz. U. Nr 201 poz. 1673). Postulat konkretnych zapisów rozszerzających rozporządzenie o wymóg charakterystyki termicznej środowiska gruntowo-wodnego został sformułowany w postaci gotowej do zaadoptowania przy nowelizacji rozporządzenia (Kapuściński, Rodzoch, 2006).



Rysunek 4. Schemat powstawania leja temperaturowego podczas eksploatacji pionowych wymienników ciepła

Figure 4. Scheme of a heat sink created around a BHE in operation

Perspektywy rozwoju GNE w Polsce

Dynamiczny rozwój systemów grzewczych bazujących na niskotemperaturowym ciepłe ziemi wynika z kilku uwarunkowań. Najważniejsze z nich dotyczy efektu ekonomicznego inwestycji. Koszt instalacji jest co prawda wyższy niż w przypadku tradycyjnych nośników energii, ale koszty eksploatacyjne są zdecydowanie niższe. W krajach, które przodują w wykorzystaniu energii niskiej entalpii oraz mają dobrze zorganizowany rynek producentów pomp ciepła i usług instalacyjnych, czas zwrotu zainwestowanego kapitału oceniany jest na około 4-6 lat.

Drugim istotnym czynnikiem wpływającym na rozwój systemów ciepłowniczych GNE jest fakt, że mogą być one realizowane przez drobnych inwestorów - osoby prywatne, szkoły, kościoły, itp. Instalacja jest prosta, praktycznie bezawaryjna i bezobsługowa. W połączeniu z opłacalnością ekonomiczną inwestycji sprawia to, że nowych instalacji przybywa w szybkim tempie, czemu dodatkowo sprzyja brak stabilności cenowej tradycyjnych nośników energii (prąd, gaz, węgiel). Dodatkową zachętą jest prosta droga formalno-prawna, która na żadnym etapie inwestycji nie jest uciążliwa dla inwestora.

Pomimo tych oczywistych zalet wskazać można czynnik ograniczający dynamikę wzrostu instalacji GPC. Jest nim brak strategicznego podejścia państwa do geotermii niskiej entalpii, która nie jest traktowana w naszym kraju jako energia odnawialna i nie została wogóle uwzględniona w krajowej strategii rozwoju energetyki odnawialnej. Dotyczy to zresztą nie tylko instalacji GPC, ale wszystkich innych odzyskujących odnawialną energię cieplną ze środowiska przy pomocy pomp ciepła (np. z powietrza, czy z wód płynących). Doświadczenia krajów, które przodują w wykorzystaniu niskotemperaturowej energii cieplnej ziemi pokazują, że intensywny rozwój instalacji geotermalnych pomp ciepła możliwy był dopiero po zaangażowaniu się państwa w promocję tej technologii.

Niezależnie jednak od stopnia stymulowania przez państwo rozwoju systemów grzewczych opartych na ciepłe ziemi o niskiej entalpii, rola hydrogeologów w procesie projektowania i wykonywania instalacji GPC będzie wzrastać. Decydować o tym będą nie tylko wymogi formalno-prawne, ale rzeczywiste potrzeby inwestorów, którzy zainteresowani będą optymalnym sposobem wykorzystania odnawialnych zasobów energii cieplnej.

Literatura

- Bujakowski W., Barbarki A., Grzybek A., Hołojuch A., Pająk L., Skoczek A., Skrzypczak S., Skrzypczak M., 2005: *Odnawialne źródła energii i możliwości ich wykorzystania na obszarach nieprzemysłowych województwa śląskiego*. Wyd. Inst. Gosp. Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.
- Busso A., Georgiev A., Roth P., 2003: *Underground thermal energy storage – first thermal response test in South America*. [in:] Word Climate & Energy Event, Rio de Janeiro.
- Dowgiałło J., Karski A., Potocki I., 1969: *Geologia surowców balneologicznych*. Wyd. Geol. Warszawa.

- EurObserv'ER*, biul. XII/2005. Wyd.: Systemes solaires. L'observateur des energies renouvelables (www.energies-renouvelables.org), Paris.
- Energia geotermalna w kopalniach podziemnych*, 2002. Wyd. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec.
- Kapuściński J., Rodzoch A., 2006: *Geotermia niskotemperaturowa w Polsce – stan aktualny i perspektywy rozwoju*. Raport dostępny na stronie WWW Ministerstwa Środowiska: http://www.mos.gov.pl/2materialy_informacyjne/raporty_opracowania/index.shtml.
- Karwasiecka M., 1996: *Atlas Geotermiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Wydawnictwo Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej S.A., Warszawa.
- Lund J.W., 2003: *Ground-source heat pumps*. [in:] *Renewable Energy World*, VII-VIII.
- Małolepszy Zb., 2002: *Zasoby energii geotermalnej w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. [w:] *Energia geotermalna w kopalniach podziemnych*. Wyd. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 3 października 2005 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie (Dz. U. Nr 201 poz. 1673).
- Mands E., Sanner B., 2001: *In-situ-determination of underground thermal parameters*. [in:] *International Summer School of Direct Application of Geothermal Energy*, Bad Urach.
- Sawicki J., 2002: *Uwagi na temat możliwości wykorzystania energii geotermalnej z wód kopalń podziemnych Dolnego Śląska*. [w:] *Energia geotermalna w kopalniach podziemnych*. Wyd. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec.
- Solik E., Małolepszy Zb., 2002: *Możliwości wykorzystania energii geotermalnej z wód kopalnianych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. [w:] *Energia geotermalna w kopalniach podziemnych*. Wyd. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec.
- Sustainable Energy Europe*, 2005. European Commission, Directorate-General for Energy and Transport, Brussels (www.sustenergy.org/pdf/sust-energy_brochure_en.pdf).
- Szewczyk J., 2001: *Estymacja gęstości strumienia cieplnego metodą modelowań właściwości termicznych ośrodka*. *Przegląd Geologiczny*, vol. 49, nr 11.
- Ustawa z dnia 22 kwietnia 2005 r. o zmianie ustawy - Prawo geologiczne i górnicze oraz ustawy o odpadach (tekst jednolity - Dz. U. Nr 90, poz. 758 z 2005 r.).

Artykuł powstał na podstawie opracowania pt. „Geotermia niskotemperaturowa w Polsce - stan aktualny i perspektywy rozwoju” wykonane na zamówienie Ministra Środowiska za środki finansowe wypłacone przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.