

Aspekty techniczne, geologiczne i formalno-prawne pozyskiwania wód termalnych

Technical, geological and formal-legal aspects of thermal water extraction

BOGDAN NOGA

DOI 10.36119/15.2023.2.3

W artykule przedstawiono aspekty techniczne eksploatacji wody termalnej poprzez omówienie konstrukcji otworu geotermalnego. Scharakteryzowano jedno – i dwuotworowy system eksploatacji wody termalnej. Opracowano schematy możliwości pozyskiwania ciepła geotermalnego w zależności od temperatury wydobywanej wody termalnej, temperatury jej schłodzenia oraz ilości wody termalnej przepływającej przez wymiennik ciepła. Przeanalizowano również aspekty geologiczne warunkujące lokalizację planowanych do budowy ciepłowni geotermalnych. Przedstawiono również wykaz niezbędnych dokumentów jakie należy pozyskać aby możliwa była eksploatacja wody termalnej. Na zakończenie przedstawiono możliwości dofinansowania planowanych do realizacji przedsięwzięć geotermalnych ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.
Słowa kluczowe: geotermia, instalacja geotermalna, otwór geotermalny, ciepło geotermalne

The article presents technical aspects of thermal water exploitation by discussing geothermal borehole construction. A one-hole and two-hole system of thermal water exploitation was characterized. Schemes were developed for the possibility of obtaining geothermal heat depending on the temperature of the extracted thermal water, its cooling temperature and the amount of thermal water flowing through the heat exchanger. Geological aspects conditioning the location of geothermal heat plants planned for construction were also analyzed. A list of necessary documents to be obtained for the exploitation of thermal water was also presented. Finally, the possibilities of financing the geothermal projects planned from the National Fund for Environmental Protection and Water Management were presented.
Keywords: geothermal, geothermal installation, geothermal borehole, geothermal heat

Wprowadzenie

Od 2016 roku, kiedy to Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej uruchomił środki finansowe na wykonywanie geotermalnych otworów badawczych, zdecydowanie wzrosło zainteresowanie inwestorów oraz samorządów zagadnieniami związanymi z geotermią. Mowa tutaj o tzw. geotermii głębokiej gdzie należy wykonać otwór na głębokość co najmniej 1200 m p.p.t. (metrów pod poziomem terenu). Na dzień dzisiejszy mówiąc o geotermii w Polsce niemalże wszyscy mają na myśli otwór geotermalny, z którego wypływa woda będąca nośnikiem ciepła geotermalnego.

Wodę termalną eksploatujemy za pomocą otworu geotermalnego o odpowiedniej konstrukcji dobranej do roli otworu jaką będzie on pełnił w instalacji geotermalnej (wydobywczy lub chłonny), ilości przewidywanej do eksploatacji wody termalnej oraz przewierczanych utworów geotermalnych. Głównie wykonujemy otwory

pionowe, ale czasami zachodzi również konieczność wykonania otworu kierunkowego (tzw. skośnego) o odpowiedniej trajektorii, typu „J” lub „S”.

Woda pobrana za pomocą otworu wydobywczego może być eksploatowana za pomocą systemu jednootworowego, gdzie woda po jej schłodzeniu może być zrzucana do systemu wodociągowego lub cieków powierzchniowych. Jedynym warunkiem jest tutaj, aby wydobywana woda termalna była wodą słodką, czyli wodą nadającą się do spożycia. Jeśli wydobywana woda termalna nie nadaje się do spożycia jej eksploatacja musi następować za pomocą systemu dwuotworowego. W tym przypadku woda po jej schłodzeniu musi zostać zatłoczona do wnętrza ziemi za pomocą geotermalnego otworu chłonnego.

Ilość pozyskanego ciepła zależy głównie od różnicy pomiędzy temperaturą wody termalnej wpływającej do wymiennika ciepła oraz temperaturą po jej schłodzeniu i ilości wody termalnej jaka przepływa przez wymiennik ciepła. Im temperatura

schłodzonej wody termalnej będzie niższa tym większą efektywność eksploatacji wody termalnej uzyskamy. Temperatura do jakiej można będzie schłodzić wodę termalną zależy od temperatury wody sieciowej powracającej z systemu ciepłowniczego.

Aby można było eksploatować wodę termalną konieczne jest przygotowanie szeregu dokumentów o znaczeniu formalno-prawnym. Podstawowym dokumentem, który umożliwia wykonanie otworu geotermalnego jest projekt robót geologicznych zatwierdzony przez Marszałka Województwa właściwego ze względu na lokalizację zamierzonej inwestycji. Aby możliwa była eksploatacja wody termalnej konieczne będzie uzyskanie koncesji.

Inwestycje geotermalne wymagają zaangażowania dużych środków finansowych. W związku z tym z pomocą dla inwestorów przychodzi Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej z ofertą współfinansowania tego typu przedsięwzięć. Do 30 czerwca 2023 roku można składać wnioski o pozyskanie

dr inż. Bogdan Noga <https://orcid.org/0000-0002-6616-4935> – Katedra Mechaniki Stosowanej i Mechatroniki, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu, Radom.
Adres do korespondencji / Corresponding author: b.noga@uthrad.pl

bezwrotnej dotacji oraz pożyczki na preferencyjnych warunkach.

Pojęcie geotermii

W trendach światowej geotermii wyróżnia się geotermię niskotemperaturową (do 150°C) oraz wysokotemperaturową (powyżej 150°C). Na dzień dzisiejszy na terenie Polski we wszystkich wykonanych dotychczas otworach geotermalnych pomierzono temperaturę poniżej 100°C. Temperatury powyżej 100°C możemy się spodziewać w otworach, które zostaną wykonane do głębokości powyżej 3500 m z tym, że głębokość ta zależy od rejonu Polski, w którym wiercenie będzie się odbywało.

W wielu publikacjach mianem geotermii określane jest wykorzystanie gruntowych pomp ciepła, które w dolnym źródle ciepła korzystają z ciepła pochodzącego od gruntu lub skał. Tutaj najczęściej otwory do zamontowania w nich wymienników ciepła są wykonywane do głębokości 100 m. Otwory wykonywane do większych głębokości niż 100 m muszą być wykonywane na podstawie Planu Ruchu Zakładu, który jest zatwierdzany przez odpowiedni dla miejsca wiercenia Okręgowy Urząd Górniczy [12]. Tego typu rozwiązania są powszechnie stosowane w systemach ciepłowniczych i/lub chłodniczych w budynkach jednorodzinnych, wielorodzinnych lub hotelach, klinikach, szpitalach itp. Są to przeważnie obiekty wyposażone w niskotemperaturowe instalacje grzewcze. Tego typu instalacje nie będą szerzej analizowane w niniejszej pracy.

Analiza przeprowadzona w niniejszej pracy będzie dotyczyła geotermii gdzie nośnikiem ciepła jest woda termalna. Z definicji wody termalnej w rozumieniu ustawy Prawo geologiczne i górnicze [13] wynika, że jest to woda, której temperatura na wypływie z otworu ma temperaturę nie mniejszą niż 20°C. Woda termalna może być wykorzystywana zarówno do celów ciepłowniczych [2, 4, 6, 14], leczniczych jak i rekreacyjnych [7]. Wody termalne mogą być również wykorzystywane np. do hodowli ryb oraz w ogrodnictwie szklarniowym i hydrouprawach [11] oraz przemysłu [5].

Techniczne aspekty wykorzystania ciepła wnętrza ziemi

Mówiąc o geotermii klasycznej mamy na myśli głęboki otwór, z którego pompujemy wodę termalną, która jest naturalnym nośnikiem ciepła geotermalnego. W zależności od mineralizacji (suchej pozostałości po odparowaniu wody) wydobywanej

wody termalnej możemy ją eksploatować, albo za pomocą jednego otworu geotermalnego tzw. wydobywczego, albo za pomocą tzw. dubletu geotermalnego, czyli za pomocą dwóch otworów geotermalnych – otworu wydobywczego i otworu chłonnego. Ten rodzaj geotermii pozwala na generowanie dużej ilości ciepła co predysponuje go do zasilania głównie miejskich systemów ciepłowniczych.

Konstrukcja otworu geotermalnego

Otwór geotermalny wykonywany jest do warstwy wodonośnej np. do głębokości 1500 m (rys. 1a). Wiercenie otworu geotermalnego zazwyczaj rozpoczyna się świdrem o średnicy 22". Głębokość tego wiercenia zależy głównie od głębokości zalegania użytecznych poziomów wodonośnych. Zazwyczaj jest to głębokość około 50 m. Po osiągnięciu zakładanej głębokości do otworu wpuszczana jest kolumna wstępna rur (rys. 1b). Zazwyczaj jest to kolumna rur o średnicy 18³/₈", która również zabezpiecza wyłot otworu przed rozmyciem przez płuczkę wiertniczą i zanieczyszczeniem jego ścian w warstwach słabo zwięzłych. Pomiędzy kolumnę wstępną a ścianki otworu wlewa się następnie cement (rys. 1b) celem stabilizacji otworu oraz zamknięcia przewierconych poziomów wodonośnych.

Po zastygnięciu cementu przystępuje się do dalszego wiercenia otworu świdrem o średnicy 17⁵/₈" (rys. 1a). Głębokość tego wiercenia jest uzależniona od przewierczanych utworów geologicznych i przeważnie wynosi około 300 m. Ten fragment otworu jest następnie rurowany kolumną przewodnikową o średnicy 13³/₈" (rys. 1b). Jest to kolumna wyciągana do wierzchu otworu i cementowana na całej swojej długości. Kolumna ta stanowi komorę pompową, w której zawieszona jest pompa głębinowa.

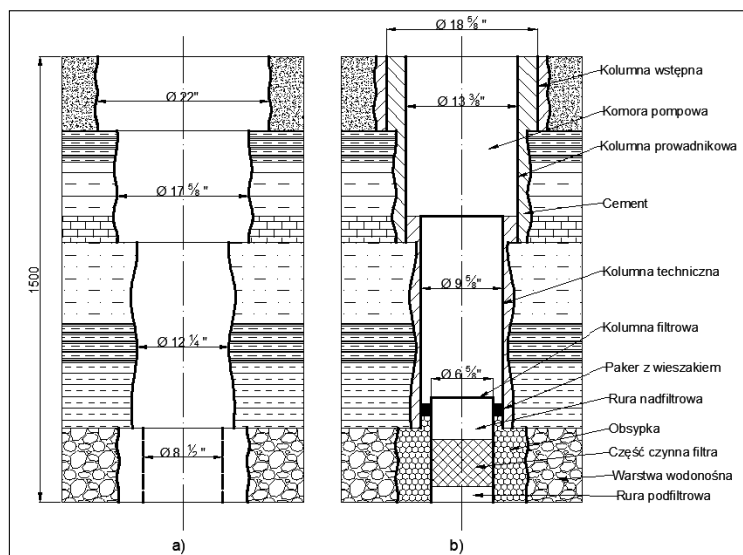
Najdłuższą część otworu geotermalnego wierce się świdrem o średnicy 12¹/₄" (rys. 1a), a jej długość zależy od głębokości zalegania warstwy wodonośnej. Wiercenie należy zakończyć tuż po nawierceniu skał docelowej warstwy wodonośnej przeznaczonej do ujęcia. Następnie wprowadzana jest kolumna techniczna rur o średnicy 9⁵/₈" (rys. 1b). Kolumna ta jest montowana w otworze na tak zwaną zakładkę, czyli rury nie wychodzą do wierzchu. Są one zawieszane w rurach wcześniej zacementowanych i tworzą z nimi około 100 metrowej długości zakładkę (rys. 1b). Cementowanie kolumny technicznej następuje na całej ich długości. Powyżej tej kolumny znajduje się naturalnie powstała komora pompowa.

Po zastygnięciu cementu i zwierceniu korka cementowego bezwzględnie należy wymienić płuczkę wiertniczą na nową. Warstwa wodonośna powinna być przewiercana przy zastosowaniu lekkiej płuczki polimerowej. Chodzi o to, aby płuczka nie przedostawała się do warstwy wodonośnej co skutkować może jej zaklejeniem i obniżeniem wydajności wody termalnej dopływającej do otworu.

Warstwa wodonośna przewiercana jest zazwyczaj świdrem o średnicy 8¹/₂" (rys. 1a). Jest to maksymalna średnica świdra jaką można wprowadzić do rur o średnicy 9⁵/₈". Długość wiercenia zależy od miąższości przewiercanego poziomu wodonośnego i może osiągnąć np. 100 m.

Aby zwiększyć powierzchnię, przez którą woda termalna z warstwy wodonośnej będzie dopływać do otworu geotermalnego, dobrą praktyką jest poszerzenie otworu w przewierconej warstwie wodonośnej. Ten zabieg wykonuje się za pomocą poszerzacza, którego ramiona skrawające rozkładają się po przejściu przez rury 9⁵/₈". Średnica poszerzenia zależy od maksymalnego możliwego do osiągnięcia

Rys. 1. Konstrukcja otworu geotermalnego
Fig. 1. Geothermal borehole construction



rozłożenia ramion poszerzacza. Po zakończeniu zabiegu ramiona poszerzacza są składane a on sam jest wyciągany na przewodzie wiertniczym na powierzchnię terenu.

W trakcie wiercenia otworu wykonywane są również badania geofizyczne, hydrogeologiczne i laboratoryjne.

Do poszerzonego odcinka otworu geotermalnego należy wprowadzić kolumnę filtrową, a następnie dokonać jej obsypania obsypką. Rolą obsypki piaskowej jest stabilizacja kolumny filtrowej oraz oczyszczanie dopływającej wody złożowej. Kolumna filtrowa składa się z rury podfiltrowej, części czynnej oraz rury nadfiltrowej (rys. 1b). Rura podfiltrowa pełni rolę osadnika a jej długość nie powinna być mniejsza niż 6 m. Przez część czynną filtra woda złożowa dopływa do otworu. Rura nadfiltrowa wyciągana jest w rurach $9\frac{5}{8}$ " na długość co najmniej 30 m celem jej zamontowania za pomocą wieszaka i uszczelnienia za pomocą pakera. Kolumna filtrowa powinna być filtrem Johnsona i powinna być wykonana ze stali kwasoodpornej.

Geotermalny otwór chłonny ma taką samą głębokość co otwór wydobywczy i ujmuje te same warstwy wodonośne. Jego konstrukcja może się różnić od otworu wydobywczego brakiem komory pompowej. Tutaj od samej góry mogą być zastosowane rury o średnicy $9\frac{5}{8}$ " a rury o średnicy $13\frac{3}{8}$ " mogą pełnić rolę kolumny wstępnej.

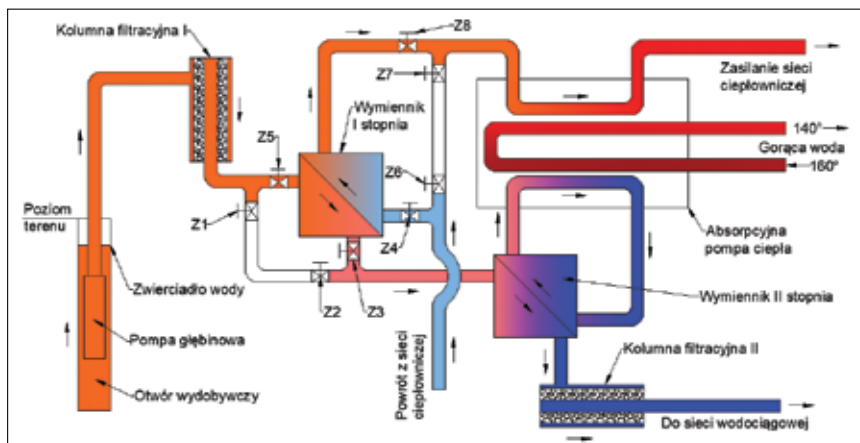
W otworze geotermalnym woda termalna z głębokości np. 1450 m może się stabilizować na głębokości np. 30 m p.p.t. To z tej głębokości woda termalna jest eksploatowana za pomocą pompy głębinowej zawieszanej na rurach wydobywczych w komorze pompowej na głębokości około 110 m.

Rury stosowane do zabudowy otworów geotermalnych powinny być wykonane ze stali o podwyższonej odporności na korozję np. N-80 lub L-80.

System jednootworowy

Jednootworowe systemy eksploatacyjne stosowane są w przypadku udostępnienia słodkich wód termalnych. Woda słodka to woda nadająca się do spożycia a więc o mineralizacji ogólnej poniżej 500 mg/dm^3 .

Przy tego typu systemie woda termalna tłoczona jest z otworu wydobywczego (rys. 2) najczęściej za pomocą pompy głębinowej (rzadziej za pomocą samowypływu). Następnie za pomocą rurociągu tłoczego woda termalna przefiltrowana jest przez kolumnę filtracyjną gdzie następuje jej oczyszczenie z zanieczyszczeń



Rys. 2. Jednootworowy system pozyskiwania ciepła geotermalnego
Fig. 2. Single-hole geothermal heat extraction system

pochodzących z warstwy wodonośnej. Jest to kolumna filtrów workowych.

Najbardziej efektywnym sposobem zagospodarowania wody termalnej jest jej schłodzenie za pomocą kaskadowo ustawionych wymienników ciepła (rys. 2). Takie rozwiązanie uzależnione jest głównie od temperatury wody termalnej wypływającej z otworu wydobywczego. Po oczyszczeniu woda termalna wpływa do wymiennika I stopnia. Tutaj musi być spełniony warunek, że woda termalna ma temperaturę wyższą niż woda powracająca z systemu ciepłowniczego. Jeśli woda termalna ma temperaturę niższą niż woda powracająca z systemu ciepłowniczego należy zamknąć zawory Z5 oraz Z3 i przy otwartych zaworach Z1 oraz Z2 skierować ją do wymiennika II stopnia. W tej sytuacji należy również zamknąć zawory Z4 oraz Z8 przy jednoczesnym otwarciu zaworów Z6 i Z7.

Zakładając, że woda termalna wpływająca do wymiennika I stopnia ma temperaturę wyższą niż woda powracająca z sieci ciepłowniczej można liczyć na odbiór ciepła geotermalnego bez udziału dodatkowej energii zewnętrznej. Ilość pozyskanego ciepła geotermalnego będzie uzależniona od różnicy temperatury wody termalnej wpływającej do wymiennika oraz z niego wypływającej i ilości przepływającej przez wymiennik wody.

Po wstępnym schłodzeniu woda termalna jest następnie kierowana do wymiennika II stopnia. Jest to wymiennik stanowiący dolne źródło ciepła dla absorpcyjnej pompy ciepła (rys. 2). Jeśli woda termalna ma temperaturę niższą niż woda powracająca z sieci ciepłowniczej to jedyną możliwością jej dalszego schłodzenia jest zastosowanie kaskady pomp ciepła (np. absorpcyjnych lub sprężarkowych).

Wodę termalną za pomocą kaskady absorpcyjnych pomp ciepła można schłodzić do około $18,6^\circ\text{C}$ zgodnie z parametrami przedstawionymi w tabeli 1.

Pompa ciepła z jednej strony zmniejsza wartość temperatury wody termalnej stanowiącej jej dolne źródło ciepła, a z drugiej strony zwiększa wartość temperatury wody zasilającej sieć ciepłowniczą (rys. 2). Aby ten proces był możliwy do realizacji konieczne jest dostarczenie dodatkowej energii, która w przypadku absorpcyjnej pompy ciepła może pochodzić od gorącej wody o temperaturze 160°C . W przypadku zastosowania sprężarkowej pompy ciepła dodatkową energię trzeba będzie dostarczyć w postaci energii elektrycznej. Temperatura do jakiej można będzie schłodzić wodę termalną w dolnym źródle ciepła i do jakiej można będzie zwiększyć temperaturę w górnym źródle ciepła zależy od temperatury wody wpływającej do wymiennika ciepła II stopnia (rys. 2) zgodnie z parametrami absorpcyjnej pompy ciepła przedstawionymi w tabeli 1.

W tabeli 1 przedstawiono pięć wariantów pracy absorpcyjnej pompy ciepła. Wariant podstawowy zakłada, że woda termalna stanowiąca dolne źródło ciepła absorpcyjnej pompy ciepła ma temperaturę $52,0^\circ\text{C}$. W takim przypadku wodę termalną można będzie schłodzić do temperatury $33,0^\circ\text{C}$ przy jednoczesnym zwiększeniu temperatury w górnym źródle ciepła do temperatury $78,0^\circ\text{C}$. Jeśli woda termalna zasilająca dolne źródło ciepła będzie miała temperaturę $36,0^\circ\text{C}$ to będzie ją można schłodzić do temperatury $18,6^\circ\text{C}$ przy jednoczesnym zwiększeniu temperatury w górnym źródle ciepła do $59,8^\circ\text{C}$ – pierwszy wariant pracy. Następne warianty pracy absorpcyjnej pompy ciepła można opisać analogicznie do wariantu podstawowego i pierwszego.

Schłodzoną wodę termalną można następnie przepompować przez kolumnę filtracyjną II, w której zainstalowane są filtry

Tabela 1. Parametry pracy absorpcyjnej pompy ciepła
Table 1. Operating parameters of the absorption heat pump

	Jedn.	Warianty pracy				
		podstawowy	1	2	3	4
Dolne źródło ciepła – woda schładzana						
Temperatura na dopływie	°C	52,0	36,0	40,0	44,0	48,0
Temperatura na wypływie	°C	33,0	18,6	22,2	25,8	29,5
Strumień masy wody	Mg/h	170,4				
Górne źródło ciepła – woda podgrzewana						
Temperatura na dopływie	°C	52,0	36,0	40,0	44,0	48,0
Temperatura na wypływie	°C	78,0	59,8	64,4	68,9	73,3
Strumień masy wody	Mg/h	332,0				
Energia napędowa pompy – woda gorąca						
Temperatura na dopływie	°C	160,0				
Temperatura na wypływie	°C	140,0				
Strumień masy wody	Mg/h	359,7				

świecowe. Zadaniem tego stopnia oczyszczania wody jest oczyszczenie jej ze związków chemicznych, które wytrąciły się z niej w wyniku zmniejszenia jej ciśnienia i temperatury. Jeśli woda termalna jest wodą do spożycia to po jej schłodzeniu można ją włączyć do wodociągu, po jej wcześniejszym uzdatnieniu. Jeśli zbiory wody wodociągowej będą mniejsze niż ilość wydobywanej wody termalnej wtedy nadmiar można zrzucić do cieków powierzchniowych np. rzeki, strumienia, rowu melioracyjnego itp. Aby taki system można było zastosować woda termalna musi być wodą słodką (przeznaczoną do spożycia).

System dwuotworowy

Eksploatacja wody termalnej w duplecie geotermalnym polega na wydobyciu wody z otworu wydobywczego za pomocą pompy głębinowej, a po jej schłodzeniu zatłoczenie do otworu chłonnego (rys. 3). Poza tym odbiór ciepła następuje identycznie jak w przypadku systemu jednootworowego.

Schłodzona woda termalna jest zatłaczana do wnętrza ziemi celem jej ponownego nagrzania od gorących skał, pomiędzy którymi przepływa w kierunku otworu

wydobywczego. Z praktyki zawodowej możemy powiedzieć, że odległość pomiędzy wlotem do otworu wydobywczego i wylotem z otworu chłonnego w złożu powinna wynosić około 1000 – 1500 m. Jest to odległość uzależniona od ilości zatłaczanej wody termalnej oraz rodzaju skał, przez które musi ona przepłynąć. Odległość pomiędzy otworami musi zapewnić nagrzanie się wody do temperatury pierwotnej, zanim zostanie ona ponownie wydobyta i skierowana do wymienników ciepła. Chodzi tutaj o odległość pomiędzy wylotami wody z otworów w warstwie wodonośnej.

Duplek geotermalny może składać się z dwóch otworów pionowych. Można również zastosować np. jeden otwór pionowy (otwór chłonny) i jeden otwór kierunkowy (skośny). Tutaj głowice otworów lokalizuje się w odległości 8 – 10 m jedna od drugiej. Następnie po wywierceniu około 300 m pionowej części otworu kierunkowego następuje jego krzywienie. Oczywistością jest tutaj, że im większa głębokość otworu kierunkowego tym większą odległość można będzie uzyskać od wylotu otworu wydobywczego.

Eksploatacja dubletu geotermalnego sprawia, że ciepło geotermalne możemy

pozyskiwać jedynie od wody, którą jesteśmy w stanie zatłoczyć. Przykładowo z otworu wydobywczego można wydobyć 150 m³/h gorącej wody termalnej. To nie oznacza, że takie mamy zasoby eksploatacyjne. Zasoby eksploatacyjne zostaną ustanowione w takiej ilości jakie mamy możliwości chłonne otworu zatłaczającego. Z doświadczenia wynika, że zatłoczyć można jedynie 2/3 możliwej do wydobycia wody. W związku z tym jeśli wydobyć można 150 m³/h wody to zatłoczyć można będzie co najwyżej 100 m³/h.

Nie jest również tajemnicą, że wraz z upływem czasu otwory zatłaczające tracą swoje właściwości chłonne [1, 8, 9, 10]. W miarę upływu czasu za ich pomocą można zatłoczyć coraz mniej wody co w oczywisty sposób przekłada się na efektywność eksploatacji odnawialnego źródła ciepła jakim niewątpliwie jest geotermia. Aby utrzymać wysoką sprawność otworów chłonnych cały czas prowadzone są różne badania, które owocują coraz skuteczniejszymi metodami wspomagającymi zatłaczanie schłodzonych wód termalnych.

Możliwości pozyskiwania ciepła geotermalnego

Ilość ciepła możliwą do uzyskania z systemu geotermalnego, odpowiadającą średniej rocznej ilości ciepła, odbieranego z wnętrza ziemi na geotermalnych wymiennikach ciepła, określa się z poniższej zależności [3, 15]:

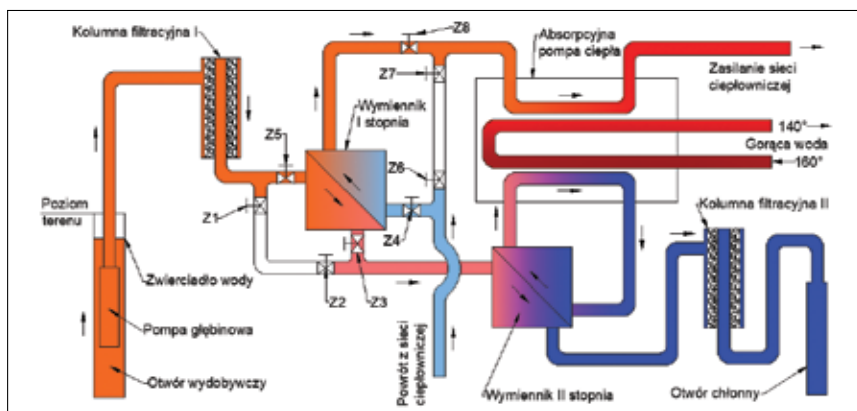
$$Q = k \cdot V \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (T_w - T_z)$$

gdzie:

- k – średni roczny współczynnik obciążenia ujęcia geotermalnego,
- V – nominalny wydatek eksploatacyjny wody termalnej [m³/s],
- ρ_w – gęstość wody termalnej [kg/m³],
- c_w – ciepło właściwe wody termalnej [J/(kg K)],
- T_w – temperatura eksploatowanej wody termalnej [°C],
- T_z – temperatura wody termalnej po odbiorze jej ciepła [°C].

Uzyskana wyjściowa ilość ciepła będzie bardzo mocno zależna od temperatury wody sieciowej powracającej z układów centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Im temperatura wody sieciowej powrotnej będzie niższa tym bardziej efektywne będzie wykorzystanie geotermalnego źródła ciepła. Przyjmując ciepło właściwe wody termalnej równe 4182 J/(kg K) oraz gęstość równą 1000 kg/m³ uzyskano efektywną moc wyjściową prezentowaną w tabelach 2 – 6.

Jak można zaobserwować na podstawie danych zaprezentowanych



Rys. 3.
Dwuotworowy system pozyskiwania ciepła geotermalnego
Fig. 3. Two-hole geothermal heat extraction system

w tabelach 2 – 6 ilość pozyskanego ciepła uzależniona jest głównie od ilości wydobywanej wody termalnej oraz od możliwości jej maksymalnego schłodzenia. O ile nie mamy wpływu na temperaturę i ilość wydobywanej wody termalnej – one zależą od warunków geologicznych ustalonych na długo przed naszym (jako ludzkości) pojawieniem się na Ziemi – o tyle mamy wpływ na możliwości schłodzenia

wody termalnej. Geotermia będzie coraz bardziej efektywna w miarę obniżania parametrów sieci ciepłowniczych. Obniżenie temperatury wody termalnej będzie również możliwe w wyniku zastosowania różnego rodzaju urządzeń pomocniczych np. absorpcyjna pompa ciepła. To urządzenie z jednej strony odbiera ciepło od wody termalnej a z drugiej strony zwiększa temperaturę wody obiegowej.

Aspekty geologiczne wpływające na lokalizację instalacji geotermalnych

Źródła geotermalne są niezależne od warunków pogodowych, pory dnia, pory roku lub ukształtowania terenu. Są jednak uzależnione od warunków geologicznych panujących w danej lokalizacji. W tym miejscu należy zaznaczyć, że nie w każdej lokalizacji naszego kraju źródła wód termalnych mogą być efektywnie eksploatowane w celach ciepłowniczych.

W Polsce wody termalne eksploatowane są głównie z utworów kredy dolnej oraz jury dolnej. Na Podhalu eksploatowane są wody termalne głównie z utworów triasu. Na większości terenu naszego kraju woda termalna występuje głównie w utworach porowych, najczęściej piaskowcach. Na terenach górskich wody termalne występują również w szczelinach i spękaniach skalnych.

Temperatura wody termalnej jest uzależniona od głębokości zalegania utworów kredy i jury dolnej. W dużym uproszczeniu możemy sobie wyobrazić, że utwory jury dolnej znajdują się niemal na powierzchni terenu na wale pomorskim i wale kujawskim (rys. 4). W tym rejonie niewątpliwie woda znajdująca się w piaskowcach jurajskich będzie miała niską temperaturę – nie przekraczającą 20°C. Utwory jury dolnej zagłębiają się następnie w kierunku niecki szczecińskiej oraz niecki mogileńsko-łódzkiej, aby w ich osi osiągnąć głębokość 2800 – 3000 m. Po czym utwory jury dolnej ponownie zmniejszają swoją głębokość w kierunku obszaru przed-sudeckiego. Na obszarze przed-sudeckim utwory jury dolnej znajdują się płytko pod powierzchnią terenu. Z drugiej strony wału kujawskiego utwory jury dolnej najgłębiej zalegają w niecce brzeźnej gdzie osiągają głębokość do około 2000 m. Poza niecką brzeźną utwory jurajskie podnoszą się coraz wyżej by w ostateczności znaleźć się niemal na powierzchni terenu.

Tak więc należy stwierdzić, że najkorzystniejsze warunki do rozwoju geotermii w Polsce znajdują się w niecce mogileńsko-łódzkiej, niecce szczecińskiej oraz na Podhalu (rys. 4). Dobre warunki do rozwoju geotermii panują również na terenie niecki brzeźnej.

Inwestycje geotermalne pociągają za sobą spore nakłady inwestycyjne. Dlatego też muszą być one rozważane indywidualnie, zarówno co do lokalizacji jak i możliwości zagospodarowania pozyskanego ciepła geotermalnego. Jak wiadomo ciepła nie opłaca się transportować na zbyt duże odległości. Ciepło powinno być zagospodarowane w miejscu jego wytworzenia.

Tabela 2. Ilość możliwego do pozyskania ciepła przy eksploatacji wody termalnej z wydajnością 200 m³/h [MW]

Table 2. The amount of heat energy that can be obtained when operating thermal water at 200 m³/h [MW]

°C	Temperatura schłodzonej wody termalnej													
	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	
Temp. wydobywanej wody termalnej	80	0,0	1,7	2,3	3,5	4,6	5,8	7,0	8,1	9,3	10,5	11,6	12,8	14,0
	75		0,0	1,7	2,3	3,5	4,6	5,8	7,0	8,1	9,3	10,5	11,6	12,8
	70			0,0	1,7	2,3	3,5	4,6	5,8	7,0	8,1	9,3	10,5	11,6
	65				0,0	1,7	2,3	3,5	4,6	5,8	7,0	8,1	9,3	10,5
	60					0,0	1,7	2,3	3,5	4,6	5,8	7,0	8,1	9,3
	55						0,0	1,7	2,3	3,5	4,6	5,8	7,0	8,1
	50							0,0	1,7	2,3	3,5	4,6	5,8	7,0
	45								0,0	1,7	2,3	3,5	4,6	5,8
	40									0,0	1,7	2,3	3,5	4,6
	35										0,0	1,7	2,3	3,5
	30											0,0	1,7	2,3
	25												0,0	1,7
	20													0,0

Tabela 3. Ilość możliwego do pozyskania ciepła przy eksploatacji wody termalnej z wydajnością 150 m³/h [MW]

Table 3. The amount of heat energy that can be obtained when operating thermal water at 150 m³/h [MW]

°C	Temperatura schłodzonej wody termalnej													
	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	
Temp. wydobywanej wody termalnej	80	0,0	0,9	1,7	2,6	3,5	4,6	5,2	6,1	7,0	7,9	8,7	9,6	10,5
	75		0,0	0,9	1,7	2,6	3,5	4,6	5,2	6,1	7,0	7,9	8,7	9,6
	70			0,0	0,9	1,7	2,6	3,5	4,6	5,2	6,1	7,0	7,9	8,7
	65				0,0	0,9	1,7	2,6	3,5	4,6	5,2	6,1	7,0	7,9
	60					0,0	0,9	1,7	2,6	3,5	4,6	5,2	6,1	7,0
	55						0,0	0,9	1,7	2,6	3,5	4,6	5,2	6,1
	50							0,0	0,9	1,7	2,6	3,5	4,6	5,2
	45								0,0	0,9	1,7	2,6	3,5	4,6
	40									0,0	0,9	1,7	2,6	3,5
	35										0,0	0,9	1,7	2,6
	30											0,0	0,9	1,7
	25												0,0	0,9
	20													0,0

Tabela 4. Ilość możliwego do pozyskania ciepła przy eksploatacji wody termalnej z wydajnością 100 m³/h [MW]

Table 4. The amount of heat energy that can be obtained when operating thermal water at 100 m³/h [MW]

°C	Temperatura schłodzonej wody termalnej													
	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	
Temp. wydobywanej wody termalnej	80	0,0	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,0	4,6	5,2	5,8	6,4	7,0
	75		0,0	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,0	4,6	5,2	5,8	6,4
	70			0,0	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,0	4,6	5,2	5,8
	65				0,0	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,0	4,6	5,2
	60					0,0	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,0	4,6
	55						0,0	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,0
	50							0,0	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5
	45								0,0	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9
	40									0,0	0,6	1,2	1,7	2,3
	35										0,0	0,6	1,2	1,7
	30											0,0	0,6	1,2
	25												0,0	0,6
	20													0,0

Takie postępowanie spowoduje natychmiastowe zapchanie się otworu chłonnego oraz jego unieruchomienie. Dlatego też konieczne jest pozyskanie pozwolenia wodnoprawnego na zrzuty wody termalnej, która miała kontakt z powietrzem, do cieków powierzchniowych lub kanalizacji.

Eksploatacja wody termalnej wymaga koncesji na eksploatację wydanej przez Marszałka Województwa właściwego dla lokalizacji otworu geotermalnego.

Koncesja jest podstawą do sporządzenia planu ruchu zakładu górniczego, który jest zatwierdzany przez właściwy Okręgowy Urząd Górniczy. Dopiero po utworzeniu zakładu górniczego oraz podpisaniu ze Skarbem Państwa umowy o ustanowieniu użytkowania górniczego możliwe jest rozpoczęcie eksploatacji wody termalnej.

Możliwe dofinansowanie instalacji geotermalnej

Na dzień dzisiejszy inwestycje związane z instalacjami geotermalnymi można współfinansować ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach programu priorytetowego *Polska Geotermia Plus. Część 1) Geotermia głęboka*. Nabór wniosków trwa do 30 czerwca 2023 roku.

W ramach tego programu można pozyskać zarówno dotację jak i pożyczkę na następujące rodzaje inwestycji geotermalnych:

1. budowa nowej lub rozbudowa istniejącej ciepłowni/ elektrociepłowni/ elektrowni geotermalnej/istniejących źródeł wytwarzania energii, opartej na źródle geotermalnym, w tym wykonanie kolejnego geotermalnego odwiertu produkcyjnego lub otworu chłonnego,
2. modernizacja istniejącej ciepłowni/ elektrociepłowni/ elektrowni geotermalnej/ istniejących źródeł wytwarzania energii, opartej na źródle geotermalnym,
3. modernizacja istniejącego otworu geotermalnego celem poprawy jego parametrów eksploatacyjnych,
4. modernizacja istniejącej ciepłowni/ elektrociepłowni/ elektrowni geotermalnej/istniejących źródeł wytwarzania energii, opartej na źródle geotermalnym, inna niż wskazana w pkt. 2,
5. zabiegi techniczne w istniejących otworach geotermalnych wydobywczych i zatłaczających,
6. rekonstrukcja otworu innego niż odwierconego w celach geotermalnych, w których wystąpiły przypiły wody termalnej.

W ramach programu priorytetowego *Polska Geotermia Plus. Część 1) Geoter-*

mia głęboka można również pozyskać dofinansowanie na:

7. nowe źródła ciepła i/lub energii elektrycznej,
8. wykonanie pierwszego odwiertu badawczego,
9. modernizacja/ rozbudowa sieci ciepłowniczych w efektywnych energetycznie systemach ciepłowniczych lub w systemach, w których inwestycje niezbędne do osiągnięcia statusu efektywnego energetycznie systemu ciepłowniczego zostaną rozpoczęte nie później niż w 3 lata od dnia rozpoczęcia projektu, na który udzielane jest dofinansowanie.

Podsumowanie

Geotermia w Polsce rozwija się od lat 90 ubiegłego wieku kiedy to powstały pierwsze ciepłownie geotermalne. Od tego czasu nieprzerwanie następuje pogłębianie wiedzy związanej z pozyskiwaniem ciepła geotermalnego. Prowadzone są różnego rodzaju badania oraz opracowywane są różnego rodzaju technologie wspomagające eksploatację ciepłowni geotermalnych.

Bardzo istotną rzeczą podczas rozważań związanych z budową ciepłowni geotermalnych jest przeprowadzenie analizy geologicznej, z której będzie wynikało ile wody termalnej i o jakiej temperaturze można będzie pozyskać z danej lokalizacji. Istotną jest również jej mineralizacja co będzie przekładać się na technologię jej eksploatacji, czy system jednootworowy czy dwuotworowy. Istotą takiej analizy jest również określenie możliwości schłodzenia pozyskiwanej wody termalnej. To od możliwości schłodzenia tej wody zależy ile ciepła geotermalnego można będzie pozyskać. Analiza finansowa powinna określić opłacalność inwestycji geotermalnej w danej lokalizacji. Analizę taką należy wykonać dla każdej planowanej inwestycji indywidualnie.

Dla wysokości kosztów inwestycji istotne znaczenie będzie miała konstrukcja otworów geotermalnych. Powinna być ona dobrana do ilości spodziewanej do ujęcia wody termalnej oraz przewiercanych utworów geologicznych. Koszt wykonania otworów geotermalnych jest jednym z głównych czynników cenotwórczych przedsięwzięcia geotermalnego.

Aby poprawić efektywność finansową pracy instalacji geotermalnej do jej wybudowania można wspomagać się różnego rodzaju dotacjami i pożyczkami udzielanymi na preferencyjnych warunkach. Jedną z instytucji współfinansujących inwestycje związane z odnawialnymi źródłami energii jest Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

WYKAZ LITERATURY

- [1] Biernat H., Kulik S., Noga B., Kosma Z., 2010b: *Problemy inkrustacji przy zatłaczaniu wykorzystanych wód termalnych. Modelowanie Inżynierskie*, Tom 8, Nr 39, Gliwice, 7 – 12.
- [2] Bloomquist R.G.: *Ekonomika zastosowania systemów geotermalnych pomp ciepła dla budynków komercyjnych i użyteczności publicznej*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia nr 5/2001, s. 25 – 40
- [3] Górecki W. (red.): *Atlas zasobów geotermalnych formacji mezozoicznej na Niżu Polskim*. AGH, Kraków
- [4] Lemale J.: *Zastosowanie geotermii niskiej entalpii w ogrzewaniu mieszkań*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, nr 2/95, s. 5 – 11
- [5] Lindal B.: *Przegląd przemysłowych zastosowań geotermii*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, nr 6/95, s. 55 – 63
- [6] Lund J.W.: *Sposoby bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, nr 5/89, s. 39 – 40
- [7] Madeyski A.: *Użytkowanie wód geotermalnych do celów kąpieliskowych*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, nr 4/2004, s. 25 – 28
- [8] Marjanowski J., Biernat H., Kulik S., Nalikowski A., Noga B., Zieliński B.: *Problemy kolmatacji w otworach chłonnych w Geotermii Pyrzyce oraz możliwości ich zapobiegania w wyniku zastosowania metody super miękkiego kwasowania*. Instal 9/2013, s. 34 – 38.
- [9] Noga B., Biernat H., Martyka P., Kulik S., Zieliński B., Marianowski J., Nalikowski A.: *Miękkie kwasowanie i super miękkie kwasowanie jako metody poprawiające efektywność działania ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach*. Ciepłe Maszyny Przepływowe, Nr 143/2013, s. 147 – 156.
- [10] Noga B., Marjanowski J., Nalikowski A., Biernat H., Kulik S., Zieliński B.: *Prevention of colmatage in the injection wells at geothermal plant in Pyrzyce by applying method of super soft acidizing*. Journal of Industrial and Intelligent Information Vol. 3, No. 1, March 2015. Doi: 12720/jiii.3.1.39-44.
- [11] Rosik-Dulewska Cz., Grabda M.: *Wykorzystanie ciepła niskotemperaturowych wód geotermalnych w produkcji ogrodniczej pod osłonami*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, nr 5/2001, s. 163 – 173
- [12] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie planów ruchu zakładów górniczych (Dz.U. 2019 poz. 2192)
- [13] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2011 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących projektów robót geologicznych, w tym robót, których wykonanie wymaga uzyskania koncesji (Dz.U. 2011 nr 288 poz. 1696)
- [14] Smal W., Nienartowicz J. 1989: *Możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii za pomocą pomp ciepłych*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, nr 5/89, s. 29 – 37
- [15] Sokołowski J.: *Prognozy rozwoju geoenergetyki w świecie, Europie i Polsce*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, nr 1-2/98, s. 3 – 19
- [16] Ustawa Prawo geologiczne i górnicze z dnia 9 czerwca 2011 (Dz. U. z 2022 r. poz. 2687)