

Możliwości produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem wody termalnej ujmowanej na terenie Polski

The possibility of producing electricity using thermal water extracted in Poland

BOGDAN NOGA

DOI 10.36119/15.2024.11.1

W pracy dokonano prezentacji rozwiązań umożliwiających produkcję energii elektrycznej z wykorzystaniem wody termalnej. Zaprezentowano temperaturę i wydajność wody termalnej wykorzystywanej w działających na świecie elektrowniach binarnych. Są to siłownie binarne, w których wykorzystywana jest woda termalna o najniższej temperaturze. Na terenie Polski najwyższą temperaturę na poziomie 92°C ma woda termalna wypływająca z otworu Konin GT-1. Jest to zbyt niska temperatura, aby można było ją zastosować do bezpośredniej produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem turbiny parowej. Temperaturę wody wypływającej z otworu Konin GT-1 porównano z temperaturą wody termalnej wykorzystywanej w działających siłowniach binarnych. Na tej podstawie można stwierdzić, że na terenie Polski, w świetle obecnego rozpoznania możliwości pozyskania wody termalnej, nie ma ekonomicznego uzasadnienia budowy siłowni binarnych i pośredniej produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem wody termalnej.
Słowa kluczowe: geotermia, woda termalna, elektrownia geotermalna, elektrownia binarna, siłownia binarna, ORC, obieg Kaliny

The paper presents solutions for the production of electricity using thermal water. The temperature and efficiency of thermal water used in binary power plants operating worldwide are presented. These are binary power plants in which thermal water of the lowest temperature is used. In Poland, the thermal water flowing out of the Konin GT-1 borehole has the highest temperature of 92°C. This is too low a temperature to be used for direct power generation using a steam turbine. The temperature of the water flowing out of the Konin GT-1 well was compared with that of the thermal water used in operating binary power plants. On this basis, it can be concluded that in Poland, in the light of the current knowledge of the possibilities of obtaining thermal water, there is no economic justification for the construction of binary power plants and the indirect production of electricity using thermal water.

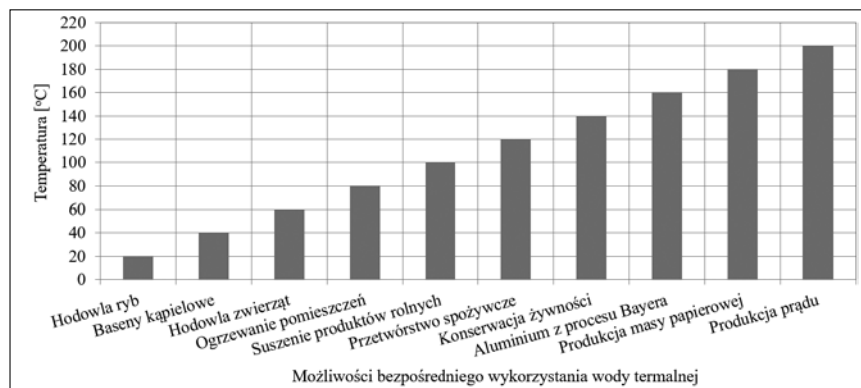
Keywords: geothermal, thermal water, geothermal power plant, binary power plant, binary power plant, ORC, Kalina cycle

Wprowadzenie

Wodą termalną nazywana jest woda podziemna, która na wypływie z otworu wiertniczego ma temperaturę wyższą niż 20°C. Ciepłe wody od niepamiętnych czasów są wykorzystywane w uzdrowiskach geotermalnych [21], czyli zdecydowanie wcześniej niż zostały odkryte możliwości ich energetycznego wykorzystania. Wody termalne wydobywane są z wnętrza ziemi – przeważnie za pomocą otworów wiertniczych [8, 28, 25, 26] – co sprawia, że są one wzbogacone różnego rodzaju minerałami. W związku z tym wody te z dużym powodzeniem wykorzystywane są w kąpieliskach, w pływalniach oraz w zabiegach balneologicznych [13, 15, 20, 35]. Tego typu wykorzystanie nie

wymaga zbyt wysokich temperatur oraz zbyt wysokich wydajności wydobywanej wody termalnej. W przypadku uzdrowi-

skowego i rekreacyjnego wykorzystania może być woda termalna, której temperatura nie przekracza 40°C (rys. 1).



Rys. 1. Możliwości wykorzystania wody termalnej w zależności od jej temperatury [19]
 Fig. 1. Possible uses of thermal water depending on its temperature [19]

Wody termalne o najniższej temperaturze, czyli niewiele wyższej od 20°C, mogą być wykorzystywane w hodowli ryb ciepłolubnych (rys. 1), ogrodnictwie szklarniowym i hydroprawkach [37]. Tego typu woda termalna może stanowić również dolne źródło ciepła dla absorpcyjnych lub sprężarkowych pomp ciepła [9, 27, 38].

Woda termalna o temperaturze około 80°C może stanowić bezpośrednie źródło ciepła w ogrzewnictwie [16, 36]. Światowe wykorzystanie wody termalnej obejmuje wiele innych dziedzin gospodarki [18, 19, 40]. Energia pochodząca od wody termalnej z powodzeniem może być również wykorzystywana w chłodnictwie [36].

Wody o temperaturze około 100°C mogą być wykorzystywane do produkcji energii elektrycznej w elektrowniach binarnych [11, 12, 34]. Para wodna wydobywana z wnętrza ziemi może być wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej w turbinach parowych [17, 18].

Aby udostępnić, na terenie Polski, do eksploatacji wody termalne o odpowiedniej temperaturze, konieczne jest wykonanie co najmniej jednego otworu wiertniczego, który będzie pełnił rolę otworu wydobywczego. Za pomocą jednego otworu geotermalnego do celów energetycznych można eksploatować wodę słodką – czyli wodę o mineralizacji poniżej 0,5 g/dm³. Jeśli woda termalna będzie wodą zmineralizowaną, mineralną lub solanką jej eksploatacja będzie możliwa tylko i wyłącznie za pomocą dwóch otworów. Za pomocą jednego będzie ona pobierana ze złoża i po jej schłodzeniu w wymiennikach ciepła, będzie ona ponownie zatłaczana do górotworu za pomocą otworu drugiego (otwór chłonny). Ze względu na problemy wynikające ze sprawności otworów chłonnych [3, 4, 33], do celów energetycznych zalecana jest eksploatacja wód termalnych za pomocą systemów wielotworowych. Problemy z zatłaczaniem za pomocą otworu chłonnego wykorzystanych wód termalnych występują na równym poziomie, zarówno w elektrowniach i ciepłowniach geotermalnych, jak i w uzdrowiskach geotermalnych [39]. Zatem systemy związane z produkcją energii powinny być zbudowane z jednego otworu wydobywczego oraz dwóch, trzech i więcej otworów chłonnych. Należy przy tym pamiętać, że nie będzie możliwości zamiany roli otworu wydobywczego z chłonnego na wydobywczy. Zatłaczana do otworu chłonnego schłodzona woda wychładza skały i po zamianie go na otwór wydobywczy przez długi czas eksploatujemy wodę zimną, tą którą wcześniej zatłoczyliśmy [7]. Sprawność otwo-

rów chłonnych, na możliwie najwyższym poziomie, utrzymywana może być w wyniku stosowania metody miękkiego kwasowania [6], super miękkiego kwasowania [5, 22, 30, 32] lub metody zakwaszania wody termalnej [31].

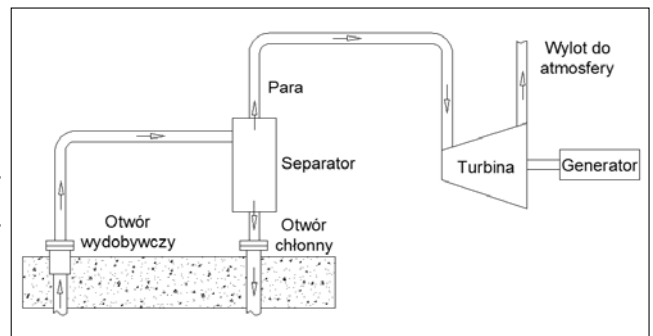
Energetyczne wykorzystanie zasobów wód termalnych w głównej mierze zależy od ich entalpii, która jest uzależniona od temperatury wydobywanej wody. W literaturze przedmiotu wody termalne dzielone są na te o niskiej, średniej i wysokiej entalpii [1, 2, 10, 23, 24]. W tabeli 1 przedstawiono klasyfikację zasobów geotermalnych w zależności od ich temperatury.

Tabela 1. Klasyfikacja zasobów geotermalnych w zależności od ich temperatury [°C]
Table 1. Classification of geothermal resources according to their temperature [°C]

Źródło kryterium	Entalpia		
	niska	średnia	wysoka
Muffler, Cataldi [23]	< 90	90-150	> 150
Hochstein [10]	< 125	125-225	> 225
Benderitter, Cormy [2]	< 100	100-200	> 200
Nichelson [24]	<= 150	-	> 150
Axelsson, Gunnlaugsson [1]	<= 190	-	> 190

Energia geotermalna może stanowić perspektywiczne odnawialne źródło energii. Zastosowanie wód termalnych przyno-

Rys. 2. Uproszczony schemat pracy elektrowni geotermalnej z wylotem zużytej pary do atmosfery [29]
Fig. 2. Simplified scheme of operation of a geothermal power plant with discharge of used steam to the atmosphere [29]



si wiele korzyści, m.in. wykorzystanie własnego, lokalnego źródła energii, które pozwala na uniezależnienie się systemu zaopatrywania w energię elektryczną i ciepło od wzrostu cen innych nośników energii konwencjonalnej. Dodatkowo w przypadku inwestycji geotermalnych nie odnotowuje się negatywnego wpływu na krajobraz oraz środowisko naturalne.

Wytwarzanie energii elektrycznej przy wykorzystaniu zasobów geotermalnych odbywa się głównie w konwencjonalnych turbinach parowych (bezpośrednia produkcja energii elektrycznej) i elektrowniach binarnych (pośrednia produkcja energii elektrycznej), w zależności od temperatury wydobywanej wody termalnej.

Możliwości bezpośredniej produkcji energii elektrycznej

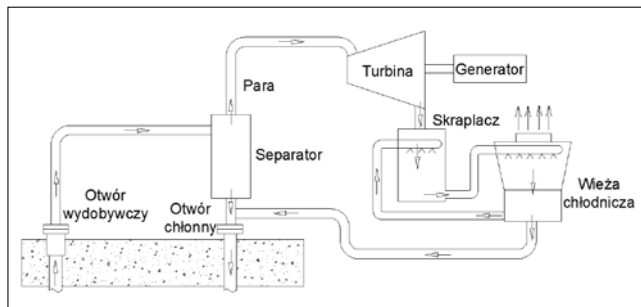
Tradycyjne turbiny parowe wymagają wody termalnej o temperaturze co najmniej 150°C i mogą pracować w wariacie z wylotem zużytej pary do atmosfery, bądź w wariacie jej skraplania i ponownego zatłaczania do górotworu.

Turbiny parowe, w których zużyta para jest kierowana bezpośrednio do atmosfery są stosunkowo proste pod względem konstrukcyjnym. W tym rozwiązaniu technicznym para wodna lub mieszanina pary i wody termalnej wypływa bezpośrednio z otworu wydobywczego (rys. 2). Następnie mieszanina pary i wody termalnej kierowana jest do separatora, gdzie następuje osuszenie pary wodnej (oddzielenie pary od wody termalnej). Następnie odseparowana woda termalna jest kierowana do otworu chłonnego, za pomocą którego jest ona ponownie zatłaczana do górotworu.

Osuszona w separatorze para jest kierowana następnie do turbiny parowej (rys. 2). Tutaj energia pary wodnej jest zamieniana w energię mechaniczną napędzającą generator energii elektrycznej. Wykorzystana w turbinie para wypływa bezpośrednio do atmosfery. Tego typu rozwiązania stosuje się w elektrowniach pilotażowych, w przypadku małych wydajności

otworu wydobywczego oraz w elektrowniach badawczych.

Inne rozwiązanie elektrowni geotermalnych polega na zatłaczaniu wykorzystanej pary ponownie do górotworu. W tym przypadku mieszanina pary wodnej i wody termalnej wypływa z otworu wydobywczego (rys. 3). Następnie para oddzielana jest od wody termalnej za pomocą separatora. Oddzielona woda termalna zatłaczana jest do górotworu za pomocą otworu chłonnego. Osuszona para kierowana jest do turbiny parowej gdzie jej energia zamieniana jest na energię mechaniczną niezbędną do napędu generatora energii elektrycznej. Para po wykonaniu pracy w turbinie jest następnie



Rys. 3. Uproszczony schemat pracy elektrowni geotermalnej ze skraplaniem pary i zatłaczaniem jej do górotworu [29]
Fig. 3. Simplified scheme of geothermal power plant operation with steam liquefaction and injection into the rock mass [29]

kierowana do skraplacza, gdzie jej postać gazowa jest zamieniana w postać ciekłą. Ten proces jest możliwy przy zastosowaniu dodatkowego urządzenia chłodniczego (rys. 3). Skroplona para jest następnie ponownie zatłaczana do górotworu za pomocą otworu chłonnego. W przypadku tego rozwiązania zużycie pary jest o połowę mniejsze w stosunku do elektrowni z wylotem zużytej pary do atmosfery.

Na terenie Polski, na dzień dzisiejszy, wody termalne o tak wysokiej temperaturze nie zostały jeszcze udokumentowane. Złuszczą, że woda termalna oprócz temperatury wyższej niż 150°C musi mieć również dużą wydajność eksploatacyjną. W związku z tym na terenie Polski – przynajmniej na dzień dzisiejszy – nie można budować elektrowni geotermalnych (bezpośrednio wykorzystujących wodę termalną) znanych z włoskiego Larderello czy amerykańskiego The Geysers w Kalifornii.

Możliwości pośredniej produkcji energii elektrycznej

Dynamiczny rozwój technologiczny spowodował, że do produkcji energii elektrycznej można wykorzystać wodę termalną o temperaturze około 100°C. Dzięki rozwojowi technologii istnieje możliwość budowy dwuczynnikowych elektrowni geotermalnych (binarnych) wykorzystujących trzy obiegi [29].

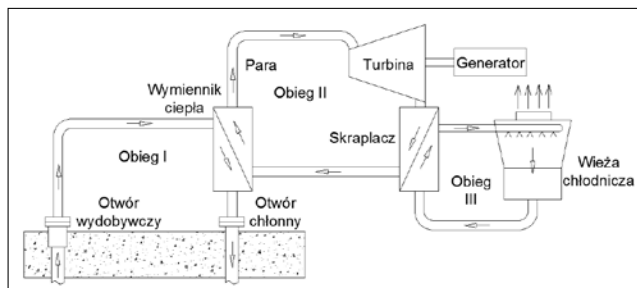
Pierwszy obieg w elektrowni binarnej stanowi woda termalna, która eksploatowana jest za pomocą otworu wydobywczego (rys. 4). Następnie jest ona przetwarzana przez wymiennik ciepła gdzie następuje od niej odbiór ciepła geotermalnego. Odbiór ciepła od wody termalnej odbywa się do czynnika niskowrzącego krążącego w obiegu II. Schłodzona, w wymienniku ciepła, woda termalna jest następnie zatłaczana do górotworu za pomocą otworu chłonnego. Zatem, w obiegu I woda termalna krąży w obiegu zamkniętym – otwór wydobywczy – wymiennik ciepła – otwór chłonny. Efektywność tego obiegu wpływa na efektywność całej elektrowni binarnej i jest uzależniona od wielkości strumienia objętości przepły-

wającej wody termalnej. Należy również pamiętać, że ilość wody przepływającej w obiegu I nie zależy od możliwości eksploatacyjnych otworu wydobywczego. Ilość przepływającej w obiegu I wody termalnej jest uzależniona od możliwości chłonnych otworu lub otworów zatłaczających. Ze względu na sukcesywną utratę chłonności [3, 4, 5, 6, 7, 22, 30, 31, 32, 33, 34] sugeruje się, aby tego typu instalacji geotermalnych nie budować w oparciu o jeden otwór chłonny.

Drugi obieg (rys. 3) to obieg czynnika niskowrzącego (np. izobutan). Cykl w obiegu II rozpoczyna się od wymiennika ciepła, gdzie czynnik niskowrzący odbiera ciepło geotermalne od wody termalnej. Następnie czynnik niskowrzący przechodzi w postać gazową w wyniku dostarczenia do niego ciepła geotermalnego. Para czynnika niskowrzącego jest następnie kierowana do turbiny, w której wykonuje ona pracę wykorzystywaną do napędu generatora energii elektrycznej. Po wykonaniu pracy w turbinie para czynnika niskowrzącego kierowana jest do skraplacza, gdzie następuje przemiana jej stanu gazowego w stan ciekły. Pod postacią cieczy czynnik niskowrzący ponownie jest przetwarzany przez wymiennik ciepła, gdzie następuje jego ponowna przemiana w postać gazową – i cykl obiegu II rozpoczyna się od nowa.

W elektrowniach binarnych czynnik niskowrzący (obieg II – rys. 4) pracuje według obiegu porównawczego Clausiusa-Rankine’a lub obiegu Kaliny. Obieg Organiczny Rankine’a (ORC) stosuje się, gdy temperatura wody termalnej oscyluje w granicach 80–150°C. Stosuje się tutaj lekkie węglowodory, izobutan (w przypadku elektrowni), izopentan (w przypad-

Rys. 4. Uproszczony schemat pracy elektrowni binarnej wykorzystującej wodę termalną [29]
Fig. 4. Simplified scheme of operation of a binary power plant using thermal water [29]



ku elektrociepłowni) lub dwutlenek węgla. Zasada działania elektrowni binarnej w obiegu Kaliny jest taka sama jak w przypadku elektrowni ORC. Różnica polega na zastosowaniu mieszaniny amoniaku z wodą jako czynnika niskowrzącego. Aby wytworzyć parę w tym przypadku wystarczy woda termalna o temperaturze 60 – 70°C [11, 12].

Obieg III (rys. 4) ma za zadanie obniżyć, schłodzić temperaturę czynnika niskowrzącego poprzez skraplacza (wymyennik ciepła). Im niższą temperaturę czynnika niskowrzącego uda się uzyskać tym więcej ciepła geotermalnego uda się następnie pozyskać od wody termalnej krążącej w obiegu I. Temperatura schłodzenia czynnika niskowrzącego będzie natomiast uzależniona od temperatury wody krążącej pomiędzy wieżą chłodniczą i skraplaczem.

Analizując temperaturę wody termalnej wykorzystywanej w już działających na świecie elektrowniach binarnych należy stwierdzić, że najniższą temperaturą wody termalnej na poziomie 74°C dysponuje Chena Hot Springs (tabela. 2). W tym przypadku należy pamiętać, że skraplacza chłodzony jest wodą z pobliskiego potoku, której temperatura jest na poziomie około 5°C.

Tabela 2. Przegląd elektrowni binarnych [11, 12, 14]
Table 2. Overview of binary power plants [11, 12, 14]

Wyszczególnienie	Temperatura [°C]	Wydajność [m³/h]	Cykl pracy
Chena Hot Springs – USA	74	115	ORC
Neustadt-Glewe – Niemcy	98	110	ORC
Unterhaching – Niemcy	115	150	Kalina
Altheim – Austria	106	100	ORC
Bad Blumau – Austria	110	80	ORC
Husavik – Islandia	121	90	Kalina
Birdsville – Australia	98	97	ORC

Analizując temperatury wody termalnej wykorzystywanej w poszczególnych siłowniach (elektrowniach) binarnych należy zauważyć, iż potrzebują one wody termalnej o temperaturze powyżej 100°C

(rys. 2). Na uwagę zasługuje również fakt, że są to siłownie binarne, które wykorzystują wody termalne o najniższej temperaturze. Pozostałe elektrownie binarne działające na świecie wykorzystują wodę termalną o zdecydowanie wyższej temperaturze. Analizując dane zamieszczone w tabeli 2 na pierwszy rzut oka można zauważyć, że siłownie binarne wymagają wody termalnej o co najmniej średniej entalpii (tabela 1).

Wysoka temperatura wody termalnej to tylko jeden z parametrów koniecznych do spełnienia, aby można ją było wykorzystywać do produkcji energii elektrycznej. Drugi parametr to ilość możliwej do wydobywania wody. Analizując dane przedstawione w tabeli 2 można zauważyć, że w funkcjonujących na świecie siłowniach binarnych przepływy wody termalnej są na poziomie 80 – 150 m³/h.

Parametry możliwej do pozyskania wody termalnej

Na terenie Polski począwszy od 1993 roku ciągle trwają prace geologiczne zmierzające do rozpoznawania i dokumentowania zasobów wód termalnych. Prace te polegają głównie na wierceniu nowych otworów geotermalnych, za pomocą których można dokonać badania możliwej do ujmowania tym otworem wody termalnej. Z ekonomicznego punktu widzenia najistotniejsza jest wysoka temperatura oraz wysoka wydajność możliwej do pozyskania wody termalnej. Z punktu widzenia energetycznego (produkcja energii elektrycznej) wykorzystania wody termalnej najistotniejsza jest jej temperatura, która determinuje jej entalpię (tabela 1).

W warunkach polskich, wodę termalną o najwyższej temperaturze można wydobywać w Koninie. Tutaj wodę termalną o temperaturze 92°C (temperatura na wypływie z otworu) można wydobywać w ilości około 114 m³/h (tabela 3). Woda wydobywana jest z utworów geologicznych jury dolnej za pomocą otworu Konin GT-1, którego głębokość wynosi 2660 m.

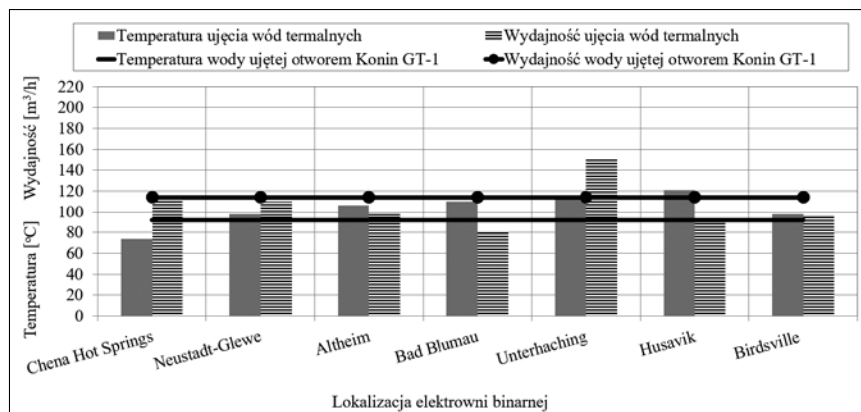
Tabela 3. Parametry wód termalnych możliwych do wydobywania na terenie Polski
Table 3. Parameters of thermal waters extractable in Poland

Nazwa otworu	Temperatura [°C]	Wydajność [m ³ /h]
Konin GT-1	92	114
Stargard Szczeciński GT-1	87	200
Bańska PGP-1	86	550
Koło GT-1	84	250
Gostynin GT-1	82	120
Chochłów PIG-1	82	120
Turek GT-1	77	54

Wysoką temperaturę – jak na polskie warunki – zmierzono dla wody termalnej wypływającej z otworu Stargard Szczeciński GT-1. Temperatura wody termalnej wypływającej z tego otworu, z wydajnością 200 m³/h, wynosi 87°C (tabela 3). Jest to woda wydobywana z utworów geologicznej jury dolnej zalegających w rejonie Stargardu na głębokości około 2670 m.

Jedną z wyższych temperatur wody wypływającej z otworu wiertniczego zarejestrowano również w Bańskiej Niżnej (Podhale). Tutaj woda wypływająca z otworu Bańska PGP-1 wynosi 86°C (tabela 3). Imponująca jest tutaj również wydajność możliwej do wydobywania wody termalnej. Woda z otworu Bańska PGP-1 wypływa w ilości 550 m³/h. Woda ta pochodzi z utworów triasu. Głębokość otworu Bańska PGP-1 wynosi około 3240 m.

Woda termalna o temperaturze 84°C eksploatowana jest w Kole (tabela 3). Tutaj woda pochodzi z utworów geologicznych kredy dolnej i można ją wydobywać w ilości 250 m³/h. Otwór geotermalny Koło GT-1 ma głębokość 2815 m.



Rys. 5.

Możliwości zagospodarowania wody termalnej ujmowanej otworem Konin GT-1 do produkcji energii elektrycznej

Fig. 5. Possibilities of using the thermal water extracted from the Konin GT-1 well for the production of electricity

Temperaturę wody termalnej na poziomie 82°C zanotowano jeszcze w Gostyninie i Chochłowie. W obu miejscowościach wodę termalną można wydobywać w ilości około 120 m³/h (tabela 3).

W Turku odkryto wodę termalną o temperaturze 77°C, która pochodzi z utworów geologicznych jury dolnej (tabela 3). Wodę z otworu Turek GT-1 można wydobywać w ilości 54 m³/h. Wodę termalną w Turku można wydobywać z głębokości 2150 m.

W pozostałych otworach geotermalnych wykonanych na terenie Polski zanotowano temperaturę wypływającej wody termalnej na poziomie poniżej 74°C – temperatura wody termalnej wykorzystywanej

w Chena Hot Springs (tabela 2). Ze zdecydowanej większości otworów geotermalnych wykonanych na terenie Polski wypływa woda termalna o temperaturze poniżej 60°C a z niektórych nawet poniżej 40°C. Analizując temperaturę wody możliwą do wydobywania na terenie Polski z całą stanowczością można stwierdzić, że są to wody o niskiej entalpii (tabela 1).

Możliwości budowy elektrowni binarnej na terenie Polski

Możliwości budowy elektrowni binarnej na terenie Polski oceniono za pomocą porównania temperatury wody termalnej. Z jednej strony wzięto pod uwagę temperaturę wód termalnych wykorzystywanych w elektrowniach binarnych działających na świecie (tabela 2). Do analizy wybrano elektrownie binarne pracujące z najniższą temperaturą wody termalnej, którą porównano z najwyższą temperaturą wody termalnej rozpoznanej na terenie Polski (rys. 5). Do analizy wybrano otwór geotermalny Konin GT-1. Jest to otwór geotermalny, za pomocą którego udokumentowano

najwyższą temperaturę wody termalnej występującej na terenie Polski.

Analizując dane przedstawione na rysunku 5 można zauważyć, że temperatura wody termalnej wydobywanej otworem Konin GT-1 jest wyższa w stosunku do tej wydobywanej w Chena Hot Springs. W stosunku do temperatury wód termalnych wykorzystywanych w pozostałych elektrowniach binarnych działających na świecie, temperatura wody pochodzącej z otworu Konin GT-1 jest zdecydowanie niższa. Stąd też, można wysnuć wniosek, że na terenie Polski, na dzień dzisiejszy, nie ma możliwości budowy elektrowni binarnej wytwarzającej energię elektryczną z wykorzystaniem wody termalnej.

Zwłaszcza, że w pozostałych lokalizacjach na terenie Polski wydobywana woda termalna ma temperaturę niższą w stosunku do tej wydobywanej otworem Konin GT-1.

Wykorzystanie wody termalnej wypływającej z otworów Konin GT-1, Stargard Szczeciński GT-1, Bańska PGP-1, Koło GT-1, Gostynin GT-1, Chochołów PIG-1 i Turek GT-1 będzie możliwe przy lepszym schłodzeniu czynnika niskowrzącego w skraplaczu (rys. 4). W tym celu konieczne będzie zastosowanie bardziej wydajnego systemu chłodzenia w wieży chłodniczej. Wzorem elektrowni binarnej zlokalizowanej w Chena Hot Springs skraplacz musiałby być chłodzony np. wodą o temperaturze około 5°C.

Ilość pozyskanej energii geotermalnej uzależniona jest zarówno od wysokiej temperatury wody termalnej, jak i od możliwości jej ilości do wydobycia. Porównując (rys. 5) ilości możliwej do wydobycia wody termalnej za pomocą otworu Konin GT-1 z ilością wody wydobywanej w działających siłowniach binarnych można stwierdzić, że ilości te są porównywalne. Tak więc ilości możliwej do wydobycia na terenie Polski wody termalnej są porównywalne z ilościami wydobywanymi w innych rejonach świata.

Analizując możliwość budowy na terenie Polski elektrowni binarnej dokonano jeszcze porównania temperatury i wydajności wody termalnej ujmowanej otworem Turek GT-1 z ujmowaną w innych elektrowniach binarnych (rys. 6). Temperatura wody termalnej ujmowanej otworem Turek GT-1 jest zbliżona do tej z Chena Hot Springs. Niestety jej temperatura jest zdecydowanie niższa od temperatury wody termalnej wykorzystywanej w innych ciepłowniach binarnych.

Porównując ilości wody termalnej możliwej do wydobycia z otworu geoter-

malnego Turek GT-1 z wydajnością wody wydobywanej w innych siłowniach binarnych można zauważyć, że jest ona zdecydowanie niższa (rys. 6). W tym przypadku pomimo dość wysokiej temperatury wody termalnej wydobywanej z otworu Turek GT-1 to jej ilość jest zbyt niska – co wyklucza możliwość ekonomicznie uzasadnionej budowy elektrowni binarnej w rejonie miejscowości Turek.

Ekonomicznie uzasadnioną budowę elektrowni binarnych na terenie Polski należy wykluczyć w miejscowościach, gdzie temperatura wody termalnej, na wypływie z otworu geotermalnego, jest niższa niż 100°C. Jednocześnie z wysoką temperaturą wody termalnej musi być zapewniony przepływ wody termalnej na poziomie co najmniej 100 m³/h.

Podsumowanie

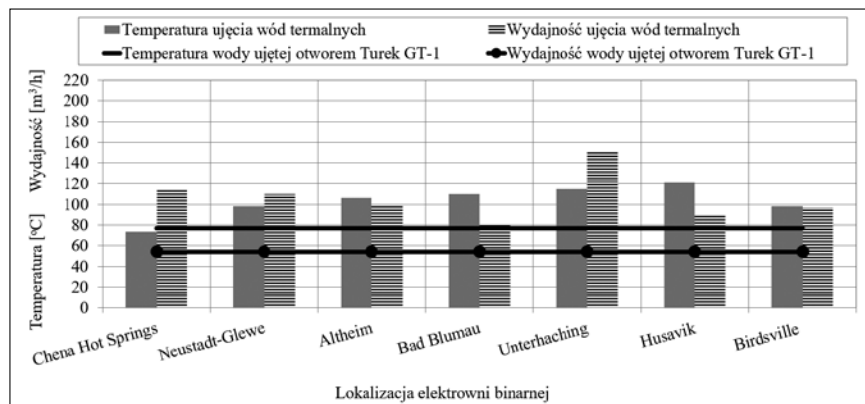
Energię elektryczną można wytwarzać z wykorzystaniem wody termalnej w sposób bezpośredni lub pośredni. Bezpośrednia produkcja energii elektrycznej jest możliwa w przypadku wydobycia pary wodnej lub mieszaniny pary i wody termalnej. Para jest w tym przypadku kierowana bezpośrednio do turbiny parowej, która napędza generator energii elektrycznej. Pośrednia produkcja energii elektrycznej z wody termalnej polega na zastosowaniu obiegu ORC lub obiegu Kaliny. W tym przypadku wydobywana woda termalna w polskich warunkach musi mieć temperaturę co najmniej 100°C. Ciepło geotermalne jest przekazywane do czynnika niskowrzącego, którego para jest kierowana do turbiny parowej. Zarówno w przypadku bezpośredniego jak i pośredniego wytwarzania energii elektrycznej z wody termalnej niezwykle istotna jest jej wydajność. W obu przypadkach strumień objętości wydobywanej pary lub

wody termalnej nie powinien być mniejszy niż 100 m³/h.

Wody termalne możliwe do wydobycia na terenie Polski są wodami o niskiej entalpii. Na dzień dzisiejszy najwyższą temperaturę wody termalnej zanotowano na wypływie z otworu Konin GT-1. Jest to temperatura na poziomie 92°C. Niestety jest to zbyt niska temperatura, aby na jej podstawie możliwe było wybudowanie elektrowni binarnej. Temperaturę powyżej 80°C udokumentowano za pomocą otworów geotermalnych w Stargardzie, Bańskiej Niżnej, Kole, Gostyninie i Chochołowie. W Turku woda termalna może być wydobywana o temperaturze 77°C. Woda z otworu Turek GT-1 może być wydobywana w stosunkowo niskiej wydajności ustalonej na około 54 m³/h. Jest to wydajność zbyt niska w porównaniu z wydajnościami wód termalnych eksploatowanych w innych elektrowniach binarnych działających na świecie.

WYKAZ LITERATURY

- [1] Axelsson G., Gunnlaugsson E., *Background: Geothermal utilization, management and monitoring*. In: Long-term monitoring of high – and low enthalpy fields under exploitation, WGC 2000 Short Courses, Japan, s. 3 – 10
- [2] Benderitter, Y., Cormy G., *Possible approach to geothermal research and relative costs*. In: Dickson, M.H., Fanelli, M., eds., *Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization*, UNITAR, New York 1990, s. 59 – 69
- [3] Biernat H., Kulik S., Noga B., Kosma Z., *Problemy korozji przy zatlaczaniu wykorzystanych wód termalnych*, „Modelowanie Inżynierskie”, 2010, t.8, s. 13–18
- [4] Biernat H., Kulik S., Noga B., Kosma Z., *Problemy inkrustacji przy zatlaczaniu wykorzystanych wód termalnych*, „Modelowanie Inżynierskie”, 2010, t.8, s. 7–12
- [5] Biernat H., Kulik S., Noga B., Kosma Z., *Próba zapobiegania kolmatacji geotermalnych otworów zatlaczających w wyniku zastosowania supermiękkiego kwasowania*, „Modelowanie Inżynierskie”, 2011, t.11, s. 59–66
- [6] Biernat H., Kulik S., Noga B., Kosma Z., *Zwiększenie możliwości chłonnych geotermalnych otworów zatlaczających w wyniku zastosowania miękkiego kwasowania*, „Modelowanie Inżynierskie”, 2011, t.11, s. 67–74
- [7] Biernat H., Noga B., Kosma Z., *Eksploatacja wody termalnej przed i po zamianie roli otworu chłonnego na otwór eksploatacyjny na przykładzie geotermii Stargard Szczeciński*, „Modelowanie Inżynierskie”, 2012, t.13, s. 15–20.
- [8] Biernat H., Noga B., Kosma Z., *Przegląd konstrukcji archiwalnych i nowych otworów wiertniczych wykonanych na Niżu Polskim w celu pozyskiwania energii geotermalnej*, „Modelowanie Inżynierskie”, 2012, t.13, s. 21–28
- [9] 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
- [10] Hochstein M.P., *Classification and assessment of geothermal resources*. In: Dickson, M.H.,



Rys. 6. Możliwości zagospodarowania wody termalnej ujmowanej otworem Turek GT-1 do produkcji energii elektrycznej
Fig. 6. Possibilities of using the thermal water extracted from the Turek GT-1 well for the production of electricity

- Fanelli, M., eds., *Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization*, UNITAR, New York 1990, s. 31 – 57
- [11] Kaczmarczyk M., *Przegląd instalacji binarnych na świecie wykorzystujących wody geotermalne o temperaturze poniżej 150°C*. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia nr 2, 2009, s. 49–61
- [12] Kaczmarczyk M., *Wykorzystanie energii geotermalnej do produkcji prądu elektrycznego z zastosowaniem obiegu organicznego Rankine'a lub cyklu Kaliny – przegląd instalacji działających na świecie*. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia nr 1–2, 2011, s. 131–144
- [13] Kochański J. W., *Balneologia i hydroterapia*. Wydawnictwo AWF, Wrocław 2002
- [14] Kotowski W.: *Geotermia: Ogrom energii*. Energetyka Gigawat, nr 3/2008.
- [15] Latur T., *Aktualny stan i dalsze możliwości wykorzystania w Polsce wód termalnych do celów leczniczych, profilaktycznych oraz rekreacji*. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 2/2007, s. 63 – 67
- [16] Lemale J., *Zastosowanie geotermii niskiej entalpii w ogrzewaniu mieszkań*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, nr 2/95, 1995, s. 5 – 11
- [17] Lindal B., *Industrial and other applications of geothermal energy*. In: Armstead, H.C.H., ed., *Geothermal Energy*, UNESCO, Paris 1973, s.135 – 148.
- [18] Lindal B., *Przegląd przemysłowych zastosowań geotermii*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, nr 6/95, 1995, s. 55 – 63
- [19] Lund J.W., *Sposoby bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, 1989, nr 5/89, s. 39 – 40
- [20] Madeyski A. 2004. *Użytkowanie wód geotermalnych do celów kąpieliskowych*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, nr 4/2004, s. 25 – 28
- [21] Małecka B., Marcinkowski J. T., *Rys historyczny rozwoju lecznictwa uzdrowskiego*, *Probl Hig Epidemiol* 2007, 88(2), s. 139-14
- [22] 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*, *Istal*, 2013, nr.9, s. 34–38
- [23] Muffler, P., Cataldi, R., *Methods for regional assessment of geothermal resources*. *Geothermics* 1978, 7, s. 53 – 89
- [24] Nichelson K.: *Geothermal Fluids*. Springer Verlag, Berlin 1993.
- [25] Noga B., *Aspekty techniczne, geologiczne i formalno-prawne pozyskiwania wód termalnych*, *Istal*, 2/2023, s. 20–26. DOI 10.36119/15.2023.2.3
- [26] Noga B., *Koszt wykonania otworu geotermalnego na terenie Polski*, *Istal*, 1/2024, s. 15–19. DOI 10.36119/15.2024.1.1
- [27] Noga B., *Pompa ciepła jako urządzenie pośredniczące w transferze energii z ośrodka o niższej temperaturze do ośrodka o temperaturze wyższej*, *„Budownictwo i Prawo”*, 4/2023, s. 30–38.
- [28] Noga B., *Przegląd konstrukcji dubletów geotermalnych wykonanych na terenie Polski*, *Istal*, 12/2023, s. 4–8. DOI 10.36119/15.2023.12.1
- [29] Noga B., Biernat H., Kapuściński J., i Martyka P., *Analiza parametrów otworów geotermalnych wykonanych na Niżu Polskim pod kątem możliwości budowy siłowni binarnych wykorzystujących ciepło wnętrza Ziemi*, *„Technika Poszukiwań Geologicznych”*, 2013, t.52, s. 127–139
- [30] Noga B., Biernat H., Martyka P., Kulik S., Zieliński B., Marianowski J., i Nalikowski A., *Analiza poprawy efektywności działania ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach w wyniku zastosowania modyfikacji odczynu pH zatłaczanej wody termalne*, *„Technika Poszukiwań Geologicznych”*, 2013, t.52, s. 59–71
- [31] Noga B., Kosma Z., i Zieliński J., *Analiza możliwości zwiększenia chłonności otworów zatłaczających na przykładzie ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach*, *„Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój”*, 2018, t.57, s. 135–154.
- [32] Noga B., Marjanowski J., Biernat H., Kulik S., Zieliński B., Nalikowski A., *The silting-up prevention in the geothermal absorbent openings of Geothermal Energy Plant Pyrzyce*, *„Inżynieria Chemiczna i Procesowa”*, 2014, t.35, s. 205–216.
- [33] Noga B., Mazur M., Kosma Z., *Analiza wpływu procesów kolmatacyjnych na sprawność wybranej ciepłowni geotermalnej*, *„Modelowanie Inżynierskie”*, 2017, t.34, s. 83–89
- [34] Nowak W., Borsukiewicz-Gozdur A., *Siłownie ORC sposobem na wykorzystanie energii ze źródeł niskotemperaturowych*. *Czysta Energia*, nr 2/2011
- [35] Ponikowska I., Ferson D., *Nowoczesna medycyna uzdrowska*. Wydawnictwo Medi, Warszawa 2008
- [36] Romanov D., Leiss B.: *Geothermal energy at different depths for district heating and cooling of existing and future building stock*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 167, 2022, 112727, ISSN 1364-0321
- [37] 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
- [38] Smal W., Nienartowicz J., *Możliwości wykorzystania odnawianych źródeł energii za pomocą pomp ciepłych*. Technika Poszukiwań Geologicznych Geosynoptyka i Geotermia, nr 5/89, 1989, s. 29 – 37
- [39] Waligóra J., Sołtysiak M., *Zatłaczanie wód pozabiegowych w utwory serii węglanowej dewonu w Uzdrowsku Ustroń*. *Buletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 445*, Warszawa 2011, s. 701 – 708
- [40] White D. E.: *Characteristics of geothermal resources*. In: Kruger, P., Otte, C., eds., *Geothermal Energy*, Stanford University Press, Stanford 1973, s. 69 – 94