

Bogdan NOGA
Przedsiębiorstwo Geologiczne POLGEOL S.A.
ul. Berezyńska 39, 03-908 Warszawa
Instytut Mechaniki Stosowanej i Energetyki
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu
ul. Krasickiego 54, 26-600 Radom
Henryk BIERNAT
Jacek KAPUŚCIŃSKI
Piotr MARTYKA
Przedsiębiorstwo Geologiczne POLGEOL S.A.
ul. Berezyńska 39, 03-908 Warszawa

Technika Poszukiwań Geologicznych
Geotermia, Zrównoważony Rozwój nr 2/2013

ANALIZA PARAMETRÓW OTWORÓW GEOTERMALNYCH WYKONANYCH NA NIŻU POLSKIM POD KĄTEM MOŻLIWOŚCI BUDOWY SIŁOWNI BINARNYCH WYKORZYSTUJĄCYCH CIEPŁO WNETRZA ZIEMI

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono przegląd siłowni binarnych działających na świecie w warunkach zbliżonych do tych panujących na Niżu Polskim. Skupiono się głównie na tych, w których wykorzystywana jest woda termalna o temperaturze około 100°C. Przeanalizowano również parametry wody termalnej możliwej do pozyskania na Niżu Polskim za pomocą już wykonanych otworów geotermalnych, w których wykonywane były pompowania pomiarowe.

SŁOWA KLUCZOWE

Geotermia, woda termalna, energia elektryczna, elektrownie binarne, Niż Polski

* * *

WPROWADZENIE

Energia geotermalna jest wewnętrznym ciepłem Ziemi zgromadzonym w skałach oraz wodach podziemnych – nazywanych wodami termalnymi, których temperatura na powierzchni musi być powyżej 20°C. Od dawna energia zawarta w wypływających samoczynnie na powierzchnię Ziemi wodach termalnych wykorzystywana była do celów balneoterapeutycznych i rekreacyjnych. Do produkcji ciepła i elektryczności energia geotermalna została zaadaptowana dopiero w erze rozwoju technik wiertniczych oraz technologii po-

zwalających na energetyczne zagospodarowanie wody termalnej o niskiej entalpii (pompy ciepła, systemy binarne).

Ciepło we wnętrzu Ziemi jest ciepłem pierwotnym, które powstało w trakcie formowania się naszej planety, a częściowo jest ciepłem pochodzącym głównie z rozpadu pierwiastków promieniotwórczych (Myśko 1989), czego efektem jest wysoka temperatura, dochodząca w jądrze Ziemi do 5000–6000°C. Temperatura ta maleje w miarę zbliżania się do powierzchni Ziemi. W zależności od budowy geologicznej w skali globalnej, zmienia się od 15 do 80°C na jeden kilometr. W zależności od głębokości i sposobu pobierania ciepła Ziemi rozróżnić można dwa rodzaje zasobów energii geotermalnej:

- zasoby hydrotermalne – gdzie energia geotermalna pobierana jest od wód termalnych o temperaturze powyżej 20°C oraz od mieszaniny wody i pary wodnej,
- zasoby petrotermalne – gdzie energia geotermalna pobierana jest od suchych gorących skał (HDR – *Hot Dry Rocks*). Ta technologia polega na zatłaczaniu wody do górotworu za pomocą otworu zatłaczającego, która przepływając do otworu chłonnego (jednego lub wielu) ogrzewa się od nagranych podziemnych skał znajdujących się zazwyczaj na głębokości poniżej 4 km.

Aby udostępnić do eksploatacji zasoby hydrotermalne w warunkach Niżu Polskiego konieczne jest wykonanie co najmniej jednego otworu wiertniczego, który będzie pełnił rolę otworu eksploatacyjnego. Otwory do pozyskiwania energii geotermalnej mogą być wykonywane jako pionowe lub kierunkowe, z tym że obecnie na Niżu Polskim otwór kierunkowy został wykonany jedynie w Geotermii Stargard Szczeciński (Biernat i in. 2012). Za pomocą otworów geotermalnych nośnik ciepła geotermalnego (woda termalna) może być eksploatowany ze złożeń:

- artezyjskiego, które jest pod ciśnieniem hydrostatycznym, a zamknięte w nim wody termalne po wykonaniu odwiertu wypływają na powierzchnię samoczynnie,
- subartezyjskie, o niższym ciśnieniu hydrostatycznym niż złoża artezyjskie, a zamkniętą w nim wodę termalną eksploatuje się głównie przy zastosowaniu pompy głębinowej zapuszczonej do odwiertu eksploatacyjnego.

Po wydobywaniu zarówno mieszaniny wody i pary wodnej jak i wody termalnej oraz odebraniu ciepła geotermalnego skropliny oraz schłodzoną wodę termalną należy zagospodarować. W związku z tym, że zazwyczaj eksploatowana jest woda wysokozmineralizowana, rzadziej woda słodka, należy przewidzieć system zatłaczania jej ponownie do tej samej warstwy wodonośnej, z której została wydobyta. Otwory geotermalne mogą zatem pracować w następujących systemach:

- jednootworowych, które stosowane są głównie do eksploatacji wody słodkiej. Jest to układ wykorzystujący tylko jeden odwiert geotermalny, z którego eksploatowana woda przekazuje ciepło w wymienniku ciepła, po czym jest ona wykorzystywana do innych celów, np. spożywczych,
- dwuotworowych, które składają się z odwiertu eksploatacyjnego i chłonnego,
- wielootworowych, złożonych z kilku otworów, najczęściej jednego produkcyjnego oraz dwóch zatłaczających.

Obecnie wszystkie działające na terenie Niżu Polskiego Zakłady Geotermalne pozyskują ciepło wnętrza Ziemi jedynie w celu wykorzystania go w ciepłownictwie. Według danych prezentowanych przez International Geothermal Association w 2010 r. (Bertani 2010), energia geotermalna była wykorzystywana w 78 krajach. Produkcja prądu elektrycznego z zasobów geotermalnych realizowana była w 24 krajach. W 2010 r. całkowita zainstalowana moc cieplna pozyskiwana z geotermii wynosiła 50 583 MW, a moc elektryczna 10 716,7 MW. Energia geotermalna stanowi w wielu krajach perspektywiczne odnawialne źródło energii. Zastosowanie wód termalnych przynosi wiele korzyści, m.in. wykorzystanie własnego, lokalnego źródła energii, które pozwala na uniezależnienie się systemu zaopatrywania w energię cieplną i elektryczną od wzrostu cen innych nośników energii konwencjonalnej, a dodatkowo w przypadku inwestycji geotermalnych nie odnotowuje się negatywnego wpływu na krajobraz.

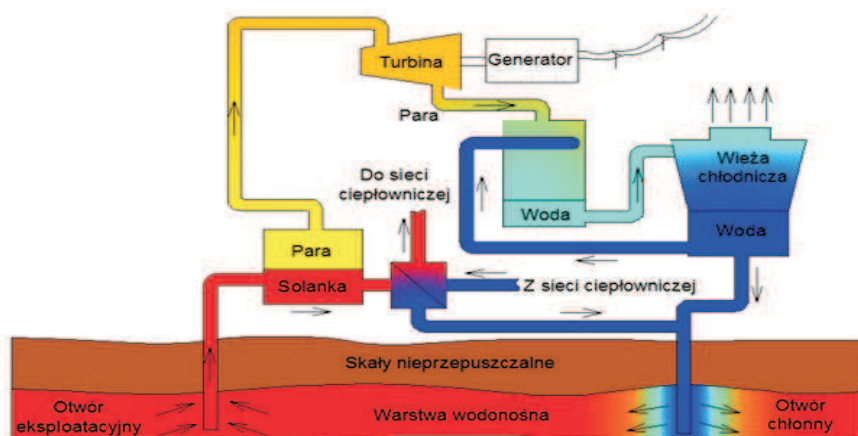
1. RODZAJE ELEKTROWNI GEOTERMALNYCH

Przy wyborze metody pozyskiwania energii elektrycznej wpływ mają przede wszystkim parametry wody termalnej i/lub pary wydobywanej z wnętrza Ziemi, czyli jej temperatura, stan termodynamiczny i skład chemiczny. Najczęściej elektrownie i elektrociepłownie geotermalne buduje się w dwojaki sposób.

Pierwszy ze sposobów budowania elektrowni geotermalnych polega na bezpośrednim odparowaniu płynu geotermalnego w rozprężaczu. Jeśli jego temperatura przekracza 200–300°C kierowany jest na turbinę parową, gdzie energia cieplna zostaje zamieniona na energię mechaniczną ruchu obrotowego łopatek turbiny, a następnie w generatorze na prąd elektryczny. Wykorzystaną parę kieruje się do skraplacza, gdzie ulega kondensacji, a skropliny wtłaczane są z powrotem otworem chłodniczym do złoża, co zapewnia odnawialność złoża (rys. 1). Tego typu elektrowni geotermalnych nie można będzie budować na Niżu Polskim głównie ze względu na odmienne warunki hydrogeotermalne w porównaniu chociażby z włoskim Larderello czy amerykańskim Geyers w Kalifornii.

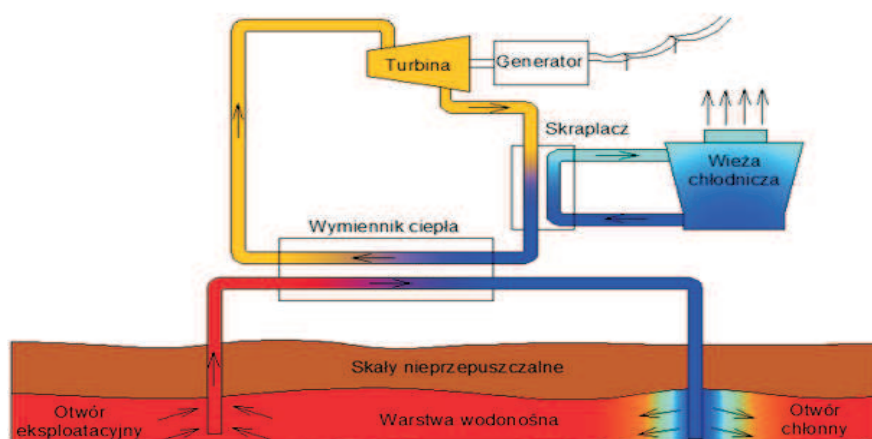
Drugi sposób budowy elektrowni geotermalnych wykorzystuje elektrownie dwuczynnikowe (binarne), w których wyróżnia się trzy obiegi (rys. 2). Pierwszy z nich stanowi obieg wody pobranej ze źródła geotermalnego; przepływa ona do wymiennika ciepła, który odbiera ciepło wodzie gorącej i przekazuje je dalej. Schłodzona woda wraca do złoża. Praca drugiego obiegu polega na wykorzystaniu ciepła odebranego od źródła geotermalnego na odparowanie czynnika (np. izopentanu). Pary czynnika są kierowane na turbinę napędzającą generator elektryczny. Zadaniem obiegu trzeciego jest skroplenie czynnika roboczego poprzez wykorzystanie wymiennika ciepła w tym przypadku skraplacza. Jako czynnik chłodzący wykorzystuje się wodę.

W systemach binarnych czynnik roboczy pracuje według obiegu porównawczego Clausiusa-Rankine'a lub obiegu Kaliny, który często jest uważany za modyfikację obiegu Clausiusa-Rankine'a.



Rys. 1. Schemat elektrowni geotermalnej z bezpośrednim wykorzystaniem pary

Fig. 1. Scheme of geothermal power plant with direct use of steam



Rys. 2. Schemat elektrowni binarnej (dwuczynnikowej)

Fig. 2. Scheme of binary power plant

Obieg Organiczny Rankine'a (ORC) stosuje się, gdy temperatura wody termalnej oscyduje w granicach 80–150°C. Stosuje się tutaj lekkie węglowodory, izobutan (w przypadku elektrowni), izopentan (w przypadku elektrociepłowni) czy dwutlenek węgla. Właściwości zastosowanego czynnika znacznie wpływają na sprawności takich elektrowni, co w konsekwencji przekłada się na efektywność ekonomiczną elektrowni i zmienia znacząco możliwości jej pracy.

Zasada działania elektrowni binarnej w obiegu Kaliny jest taka sama jak w przypadku elektrowni ORC. W tym przypadku różnica polega na zastosowaniu mieszaniny amoniaku z wodą jako czynnika roboczego. Pary tego czynnika mogą zasilać turbinę już przy takiej

temperaturze, aby do takich instalacji wystarczyła temperatura płynu geotermalnego na poziomie 60–70°C.

2. PRZEGLĄD DZIAŁAJĄCYCH ELEKTROWNI BINARNYCH

Elektrownie binarne (dwuczynnikowe) odgrywają dość dużą rolę na światowym rynku produkcji energii elektrycznej, szczególnie w przypadku wykorzystania potencjału wód termalnych. Przeglądu siłowni binarnych działających na świecie dokonano przy uwzględnieniu warunków geotermalnych udokumentowanych obecnie na Niżu Polskim. Pod uwagę wzięto siłownie binarne pracujące na świecie z temperaturami wody termalnej, która jest możliwa do pozyskania na Niżu Polskim.

Najniższą temperaturą wody termalnej dysponuje elektrownia geotermalna w miejscowości Chena Hot Springs na Alasce (tab. 1). Chena jest pierwszą elektrownią wykorzystującą do produkcji prądu źródła geotermalne o temperaturze około 74°C (Holdmann 2007). Budowa elektrowni jest modułowa. Prąd elektryczny generowany jest z wykorzystaniem cyklu Rankine’a (ORC). Wody termalne wydobywane z odwiertu produkcyjnego o głębokości około 217 m, z wydajnością 115 m³/h, poprzez wymiennik ciepła ogrzewają ciecz, którego temperatura parowania jest niższa niż wody. Tym medium jest R-134a, czyli tetrafluoroetan. Po odparowaniu czynnika roboczego w parowniku powstaje para napędzająca turbinę, osiągającą 400 kWe.

Tabela 1

*Przeгляд instalacji produkujących energię elektryczną w siłowniach binarnych
(Kaczmarczyk 2009, 2011)*

Table 1

*The overview of installations producing electricity in the binary power plants
(Kaczmarczyk 2009, 2011)*

Wyszczególnienie	Lokalizacja	Woda termalna		Cykl pracy	Moc elektryczna [kW]
		temperatura [°C]	wydajność [m ³ /h]		
Chena Hot Springs	Alaska - USA	74	115	ORC	400
Neustadt-Glewe	Niemcy	98	110	ORC	210
Unterhaching	Niemcy	115	150	Kalina	3 360
Altheim	Austria	106	100	ORC	500
Bad Blumau	Austria	110	80	ORC	180
Husavik	Islandia	121	90	Kalina	1 600
Birdsville	Australia	98	97	ORC	80

Najbardziej zbliżone warunki geologiczne do tych występujących na Niżu Polskim panują w sąsiednich Niemczech. Pierwsza w Niemczech elektrownia pozyskująca energię w systemie binarnym powstała w Neustadt-Glewe. Wykorzystywane są tutaj wody termalne o temperaturze 98°C, które wydobywane są z wydajnością 110 m³/h. Energia elektryczna produkowana jest w systemie ORC. Dodatkowo schłodzona wstępnie podczas produkcji energii elektrycznej woda termalna wykorzystywana jest również w ciepłownictwie. Na zakończenie procesu technologicznego schłodzona do około 50°C woda termalna zatłaczana jest ponownie do górotworu za pomocą otworu chłonnego (Kaczmarczyk 2009, 2011).

Inna instalacja geotermalna wykorzystywana do produkcji energii elektrycznej wybudowana w Niemczech zlokalizowana została w Unterhaching w okolicach południowej części Monachium. Jest ona jedną z niewielu elektrowni na świecie, która wytwarza prąd ze źródeł geotermalnych z wykorzystaniem technologii Kaliny. W celu pozyskania wód termalnych do produkcji energii cieplnej i elektrycznej wykonano dwa otwory geotermalne: eksploatacyjny o głębokości 3446 m i temperaturze wody na wypływie wynoszącej około 115°C oraz chłonny o głębokości 3864 m, znajdujący się w odległości 3,5 km od otworu eksploatacyjnego. Wydajność eksploatacji wód termalnych to 150 m³/h, co pozwala na osiągnięcie mocy produkcji elektrycznej na poziomie 3,36 MWe; moc cieplna wynosi 38 MWt (Kaczmarczyk 2009, 2011).

W Austrii w miejscowości Altheim energia elektryczna z geotermii za pomocą systemów binarnych produkowana jest od 2000 roku. Otwór eksploatacyjny wykorzystywany przez instalację w Altheim został wykonany w 1989 roku, przy czym początkowo wykorzystywany był jedynie do celów ciepłowniczych. Woda termalna jest eksploatowana z głębokości 2300 m, a charakteryzuje ją temperatura 106°C oraz wydajność na poziomie 100 m³/h. Do produkcji energii elektrycznej wykorzystywana jest jedynie połowa możliwej do osiągnięcia wydajności eksploatacyjnej wody termalnej, reszta zużywana jest do celów ciepłowniczych. Prezentowane parametry wody termalnej pozwalają na wytworzenie mocy elektrycznej w systemie ORC na poziomie 500 kWe (Kaczmarczyk 2009, 2011).

Perspektywa wykorzystania wody termalnej do produkcji energii elektrycznej pojawiła się w Austrii po wykonaniu otworu Bad-Blumau 2, który osiągnął głębokość 2 360 m. Otwór ten charakteryzuje się wydajnością wody termalnej równą 80 m³/h oraz temperaturą na poziomie 110°C. Instalacja binarna pracująca od 2001 r. w systemie ORC może osiągnąć moc 180 kWe. Woda termalna wykorzystana w produkcji energii elektrycznej zostaje schłodzona do około 85°C, co pozwala na jej dalsze wykorzystanie w ciepłownictwie (Kaczmarczyk 2009, 2011).

Jedna z elektrowni geotermalnych pracujących na Islandii została wybudowana według technologii Kaliny. Siłownia binarna w miejscowości Husavik wykorzystuje wodę termalną o temperaturze 121°C wydobywaną z wydajnością 90 m³/h. Uzyskana moc elektryczna na poziomie 1600 kWe pochodzi częściowo z procesów spalania biogazu w silniku napędzającym generator prądu (Kaczmarczyk 2009, 2011).

Elektrownia geotermalna wykorzystująca wody termalne o temperaturze poniżej 100°C pracuje również w Australii. Siłownia w Birdsville działa od 1992 roku, a jej moc zain-

stalowana wynosi 80 kWe. W procesie wytwarzania energii elektrycznej woda termalna wydobywana jest z głębokości 1280 m. Charakteryzuje ją temperatura 98°C oraz wydajność eksploatacyjna na poziomie 97 m³/h .

3. STAN ROZPOZNANIA NA NIŻU POLSKIM – OTWORY GEOTERMALNE

Polska jest krajem o dużych, potencjalnych możliwościach pozyskiwania energii geotermalnej. Ponad połowę obszaru naszego kraju obejmuje wielki zbiornik permsko-mezozoiczny, w obrębie którego znajdują się mniejsze jednostki geologiczne z występującymi w nich kolektorami wód termalnych. Zbiorniki wód termalnych, które są perspektywiczne i mogą być wykorzystywane do pozyskania energii geotermalnej, znajdują się głównie w utworach mezozoicznych.

Na obszarze Niżu Polskiego głównym poziomem wodonośnym wód termalnych przeznaczonych do ich energetycznego wykorzystania mogą być utwory jury dolnej. Jest to piaszczysty i piaszczysto-mułowcowy kompleks utworów liasowych występujących prawie na całej powierzchni Niżu Polskiego. Ciągną się one systemem podziemnych niecek z okolic Szczecina, poprzez rejon mogilneńsko–łódzki po Mazowsze. Warstwy te charakteryzują się dobrymi właściwościami kolektorskimi. W warstwach tych udział piaskowców o dobrych właściwościach kolektorskich wynosi około 60–80%. W piaskowcach tych porowatość określona laboratoryjnie wynosi 14–19%, przepuszczalność do 1000 mD (Biernat i in. 2009a). Z utworów tych można uzyskiwać wydajności od 100 m³/h do 300 m³/h (Biernat i in. 2009a). Inne obszary występowania wód termalnych w Polsce to Podhale i Sudety.

Obecnie pod względem energetycznego wykorzystania wód termalnych na Niżu Polskim stosunkowo dobrze rozpoznano utwory kredy dolnej i jury dolnej. W niektórych rejonach na Niżu Polskim woda termalna jest już wykorzystywana w rekreacji i ciepłownictwie. Od 2008 roku na Niżu Polskim wykonanych zostało dziewięć nowych otworów geotermalnych, za pomocą których dokonano opróbowania utworów kredy dolnej i jury dolnej. Jednym z nich opróbowano dodatkowo utwory triasu środkowego.

Pierwsze badania utworów jury dolnej na Niżu Polskim pod względem ich energetycznego wykorzystania wykonane zostały za pomocą otworów eksploatacyjnych w Geotermii Pyrzyce, którą uruchomiono w 1997 r. Otwory eksploatacyjne (Pyrzyce GT-1 i Pyrzyce GT-2) wykonano do głębokości ponad 1600 m, co pozwoliło na ujęcie wody o temperaturze 61°C na wypływie (w złożu temperatura wody wynosi 64°C). Za pomocą dwóch otworów eksploatacyjnych w Geotermii Pyrzyce można uzyskać wydajność 340 m³/h. Ze względu na wysoką mineralizację eksploatowanych wód sięgającą 120 g/dm³ wykorzystana woda musi być ponownie zatłaczana do górotworu za pomocą dwóch otworów chłonnych (Biernat i in. 2010). Za pomocą otworów wykonanych w Geotermii Pyrzyce zostały rozpoznane utwory jury dolnej w niecce szczecińskiej (rys. 3).

Badania związane z rozpoznaniem i udokumentowaniem wód termalnych w niecce szczecińskiej przeprowadzono również otworami Stargard Szczeciński GT-1 i Stargard



Rys. 3. Lokalizacja otworów geotermalnych na terenie Niziny Polskiej

Fig. 3. The location of geothermal wells on Polish Lowland

Szczeciński GT-2. Na uwagę zasługuje fakt, że jest to jedyne rozwiązanie w Polsce, gdzie jeden z otworów jest pionowy, a drugi jest otworem kierunkowym (Biernat i in. 2012). Za pomocą otworu Stargard Szczeciński GT-1 został opróbowany horyzont wodonośny jury dolnej. Na głębokości 2670 m stwierdzono temperaturę w złożu wynoszącą 95°C (Biernat i in. 2004), natomiast podczas eksploatacji wypływająca na powierzchnię woda termalna ma temperaturę 87°C (tab. 2). Zgodnie z dokumentacją hydrogeologiczną w Stargardzie Szczecińskim wodę termalną można eksploatować z wydajnością 200 m³/h. Dolnojurajska woda termalna w okolicach Stargardu Szczecińskiego ma mineralizację 140 g/dm³. Na pograniczu obszaru niecki szczecińskiej, niecki mogileńsko-łódzkiej i obszaru przed-sudeckiego wykonany został otwór geotermalny Tarnowo Podgórne GT-1 o głębokości 1200 m, którym udostępniono horyzont jury dolnej. W ramach wykonanych prac geologicznych uzyskano z otworu Tarnowo Podgórne GT-1 wydajność wody termalnej na poziomie 220 m³/h przy temperaturze 44°C. Mineralizacja wydobywanej wody termalnej wynosi 80 g/dm³.

Na dzień dzisiejszy w niecce mogileńsko-łódzkiej do celów geotermalnych przeznaczonych jest sześć otworów. Trzy z nich zlokalizowane są w Geotermii Uniejów, dwa

Tabela 2

*Parametry eksploatacyjne otworów geotermalnych zlokalizowanych na terenie Nizżu Polskiego
(Noga, Kosma 2011; Noga i in. 2011)*

Table 2

*The exploitation parameters of geothermal wells located on Polish Lowland
(Noga, Kosma 2011; Noga i in. 2011)*

Wyszczególnienie	Temperatura wypływu [°C]	Zasoby eksploatacyjne [m ³ /h]	Mineralizacja [g/dm ³]
Pyrzyce GT-1 Pyrzyce GT-2	61	340	120
Stargard Szczeciński GT-1	87	200	140
Tarnowo Podgórne GT-1	44	220	80
Uniejów PIG/AGH-2	68	120	8
Poddębice GT-2	72	115	< 0,5
Kleszczów GT-1	52	200	6
Mszczonów IG-1	40	60	< 0,5
Gostynin GT-1	82	120	144
Toruń TG-1	64	350	107
Piaseczno GT-1	45	120	90

w Geotermii Kleszczów, jeden w Geotermii Poddębice. Otwór eksploatacyjny Uniejów PIG/AGH -2 o głębokości około 2000 m udostępnia wodę termalną z poziomu kredy dolnej. Wodę o temperaturze 68°C można pompować z wydajnością 120 m³/h przy stosunkowo niewielkiej mineralizacji, będącej na poziomie 8 g/dm³ (Kurpik 2007). Utwory kredy dolnej eksploatowane są również w sąsiadujących z Uniejowem (ok. 17 km) Poddębicach, gdzie otwór eksploatacyjny Poddębice GT-2 ma głębokość 2100 m. Temperatura wydobywanej z tej głębokości wody termalnej wynosi 72°C z wydajnością 115 m³/h (Smętkiewicz 2010). Woda termalna z otworu Poddębice GT-2 w ilości 115 m³/h wypływa samoczynnie, a jej mineralizacja kwalifikuje ją jako wodę pitną. Otwory w Geotermii Kleszczów ujmują utwory jury dolnej. Otwór eksploatacyjny Kleszczów GT-1 ma głębokość 1620 m. Za jego pomocą w Kleszczowie można wydobywać wodę o temperaturze 52°C z wydajnością 200 m³/h oraz mineralizacją 6 g/dm³ (Jasnos i in. 2012).

Niecka warszawska została opróbowana pięcioma otworami geotermalnymi. Dwa z nich należą do Geotermii Toruń, jeden do Geotermii Mazowieckiej w Mszczonowie oraz po jednym odwiercono w miejscowości Gostynin i Piaseczno. Otwór Mszczonów IG-1 o głębokości 1700 m eksploatuje wodę termalną z poziomu kredy dolnej. Temperatura wydobywanej wody osiąga wartość 42°C przy wydajności 55 m³/h (Balcer 2007). Bardzo dużą zaletą mszczonowskiej wody termalnej jest to, że jest ona wodą słodką i po odbiorze ciepła jest częściowo kierowana do miejskiego systemu wodociągowego. Jeden z nowych otworów

został wykonany w miejscowości Gostynin, gdzie z poziomu jury dolnej osiągnięto temperaturę 82°C przy wydajności 120 m³/h. Otwór Gostynin GT-1 ma głębokość 2734 m, a eksploatowana nim woda termalna ma mineralizację 144 g/dm³ (Biernat i in. 2008).

Bardzo ciekawym otworem wykonanym na niecce warszawskiej jest otwór Toruń TG-1, którym opróbowano utwory jury dolnej oraz triasu środkowego – wapień muszlowy (Posytniak 2009). Podczas pompowania eksploatacyjnego wody termalnej z otworu Toruń TG-1 do otworu Toruń TG-2 warstw wodonośnych jury dolnej stwierdzono temperaturę 64°C przy wydajności 350 m³/h (Biernat i in. 2009b). Opróbowanie horyzontu triasu środkowego nie przyniosło zadowalającej, możliwej do wykorzystania energetycznej wydajności eksploatacyjnej wody termalnej.

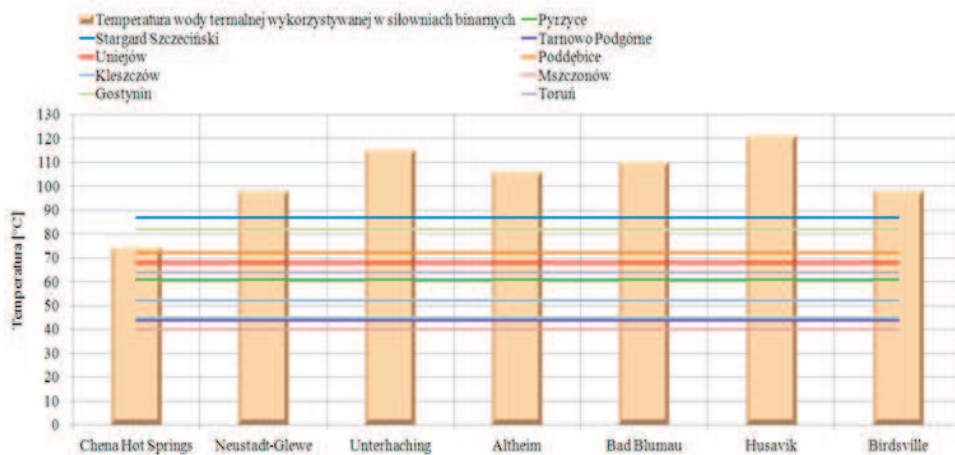
Na przełomie 2011/12 roku na niecce warszawskiej wykonano badania parametrów jury dolnej za pomocą otworu Piaseczno GT-1. Tutaj stwierdzono, że woda termalna o temperaturze 45°C wypływa z wydajnością 120 m³/h. Mineralizacja piaseczyńskiej wody termalnej wynosi 90 g/dm³.

Badania dolnojurajskich warstw wodonośnych na Niżu Polskim wykonywane były również na obszarach uchodzących za mniej perspektywiczne do celów energetycznego wykorzystania wody termalnej. Otworem Lidzbark Warmiński GT-1 opróbowano utwory jury dolnej na syneklizie bałtyckiej, a otworem Trzęsacz GT-1 na wale pomorskim. W obydwóch otworach stwierdzono temperaturę wody termalnej poniżej 30°C.

Porównując temperaturę wody termalnej w istniejących na świecie siłowniach binarnych (tab. 1) z temperaturą wody termalnej możliwą obecnie do wydobywania na terenie Niżu Polskiego (tab. 2) można stwierdzić, że w większości przypadków są one zdecydowanie odmienne (rys. 4). Na Niżu Polskim najwyższa temperatura wydobytej obecnie wody termalnej jest niższa od temperatury wody termalnej wykorzystywanej obecnie w istniejących na świecie siłowniach binarnych. W przypadku Niżu Polskiego będzie jednak problem z efektywnym chłodzeniem podobnym do tego w Chena Hot Springs (temperatura wody chłodzącej na poziomie 5°C). Można zatem stwierdzić, że na Niżu Polskim nie ma obecnie typowego otworu geotermalnego z temperaturą wody termalnej sprzyjającą budowie siłowni binarnych.

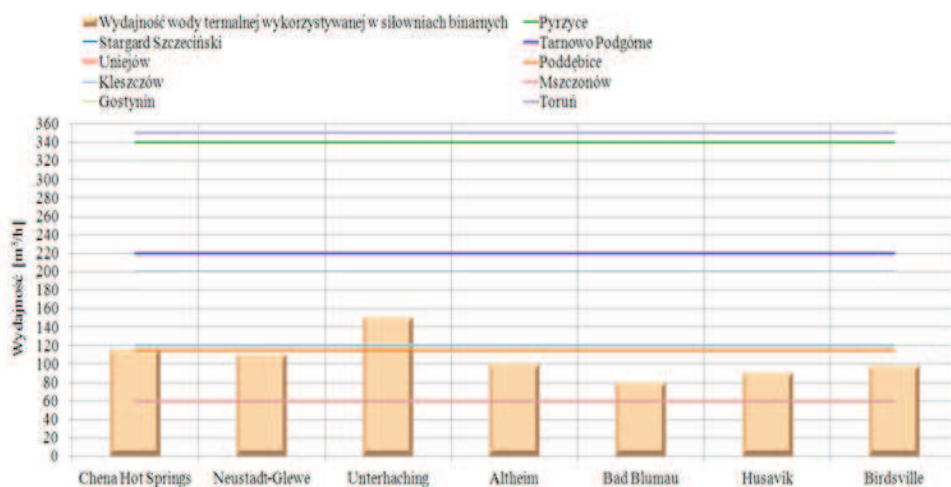
Wyższych temperatur należy spodziewać się w utworach triasu górnego, środkowego oraz dolnego. W tym przypadku wydajności eksploatowanej wody mogą okazać się niezadowalające, co potwierdzono otworem Toruń TG-1, którym opróbowano utwory triasu środkowego – wapień muszlowy.

Na Niżu Polskim panują jednak bardzo dobre warunki związane z ilościami możliwej do pozyskania wody termalnej (rys. 5). Są to jednak wydajności zaczerpnięte z dokumentacji hydrogeologicznych, w których podawana jest maksymalna wydajność z jaką można eksploatować wodę termalną. W rzeczywistych warunkach występują bardzo poważne problemy z zatłaczaniem schłodzonej wody za pomocą otworu chłonnego. Na podstawie obserwacji instalacji geotermalnych działających na Niżu Polskim należy stwierdzić, że na problemy eksploatacji wody termalnej za pomocą dubletu geotermalnego wpływają głównie:



Rys. 4. Porównanie temperatury wody termalnej wykorzystywanej w siłowniach binarnych z temperaturą wody termalnej możliwą obecnie do wydobycia na terenie Nizy Polskiego

Fig. 4. Temperature of thermal water utilized in binary power plants versus current temperature extracted from wells on Polish Lowland



Rys. 5. Porównanie wydajności wody termalnej wykorzystywanej w siłowniach binarnych z wydajnością wody termalnej możliwą obecnie do wydobycia na terenie Nizy Polskiego

Fig. 5. Productivity of thermal water utilized in binary power plants versus productivity of thermal water extracted from wells on Polish Lowland

- korozja rur i innych urządzeń,
- kolmatacją strefy przyodwiertowej, czyli osadzanie się osadów wytrąconych z wody termalnej na rurach, filtrach i w strefie przyodwiertowej.

PODSUMOWANIE

W pracy skupiono się na możliwościach pozyskiwania energii z zasobów hydrotermalnych, czyli takich gdzie nośnikiem energii jest woda termalna wydobywana za pomocą otworów wiertniczych. Ze względu na warunki geologiczne Nizy Polskiego dokonano analizy możliwości pozyskiwania energii elektrycznej za pomocą systemów binarnych – dwuczynnikowych.

Analizując temperaturę wody termalnej wykorzystywanej w już działających na świecie siłowniach binarnych z łatwością można stwierdzić, że najniższą temperaturą na poziomie 74°C dysponuje Chena Hot Springs. Jednak większość działających na świecie siłowni binarnych wykorzystuje temperaturę wody termalnej na poziomie powyżej 100°C.

Na Nizy Polskiej woda termalna występuje głównie w utworach kredy dolnej i jury dolnej. Z wyników udokumentowanych obecnie parametrów wody termalnej wynika, że najwyższą obecnie temperaturę wody termalnej na poziomie 87°C na Nizy Polskiej uzyskano w Geotermii Stargard Szczeciński. Wodę termalną o temperaturze 82°C odkryto również otworem Gostynin GT-1. Mimo wszystko i tak są to zbyt niskie temperatury wody termalnej, aby można ją było wykorzystać do efektywnej produkcji energii elektrycznej. Wodę o takiej temperaturze można wykorzystać do produkcji energii elektrycznej w systemach hybrydowych, gdzie woda termalna będzie pierwszym stopniem podgrzewania czynnika niskowrzącego.

LITERATURA

- BALCER M., 2007 — Zakład Geotermalny w Mszczonowie – wybrane aspekty pracy, doświadczenia, perspektywy. Technika Poszukiwań Geologicznych Geotermia Zrównoważony Rozwój nr 2, s. 113–116.
- BERTANI R., 2010 — Geothermal power generation in the world 2005–2010 update report. Proceedings, World Geothermal Congress, Bali (Indonesia). Paper No. 0008 (CD).
- BIERNAT H., BENTKOWSKI A., POSYNIAK A., 2004 — Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów eksploatacyjnych ujęcia wód termalnych z utworów jury dolnej w Stargardzie Szczecińskim. Archiwum PG POLGEOL S.A.
- BIERNAT H., BENTKOWSKI A., POSYNIAK A., 2008 — Dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia wód termalnych z utworów jury dolnej w otworze Gostynin GT-1. Archiwum PG POLGEOL S.A.
- BIERNAT H., KULIK S., NOGA B., 2009a — Możliwości pozyskiwania energii odnawialnej i problemy związane z eksploatacją ciepłowni geotermalnych wykorzystujących wody termalne z kolektorów porowych. Przegląd geologiczny t. 57, nr 8, s. 655–656.
- BIERNAT H., POSYNIAK A., BENTKOWSKI A., 2009b — Dokumentacja otworowa otworu geotermalnego Toruń GT-2. Archiwum PG POLGEOL S.A.
- BIERNAT H., KULIK S., NOGA B., 2010 — Instalacja geotermalna w Pyrzycach jako przykład pozyskiwania czystej i odnawialnej energii w ciepłownictwie oraz wód termalnych do balneologii i rekreacji. Przegląd Geologiczny t. 58, nr 8, s. 712–716.
- BIERNAT H., NOGA B., KOSMA Z., 2012 — Przegląd konstrukcji archiwalnych i nowych otworów wiertniczych wykonanych na Nizy Polskiej w celu pozyskiwania energii geotermalnej. Modelowanie Inżynierskie t. 13, nr 44, s. 21–28.

- HOLDMANN G., 2007 — The Chena Hot Springs 400kW Geothermal Power Plant: Experience Gained During the First Year of Operation. <http://www.chenahotsprings.com>
- JASNOS K., KOŁBA P., BIERNAT H., NOGA B., 2012 — Wyniki badań hydrogeologicznych prowadzących do rozpoznania i udostępnienia zasobów wód termalnych na terenie Gminy Kleszczów. Modelowanie Inżynierskie t. 14, nr 45, s. 65–69.
- KACZMARCZYK M., 2009 — Przegląd instalacji binarnych na świecie wykorzystujących wody geotermalne o temperaturze poniżej 150°C. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia nr 2, s. 49–61.
- KACZMARCZYK M., 2011 — 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, s. 131–144.
- KURPIK J., 2007 — Wykorzystanie wód geotermalnych na przykładzie geotermii Uniejów. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia nr 2, s. 119–120.
- MYŚKO A., 1989 — Perspektywy rozwoju energii geotermalnej w świecie z uwzględnieniem ekonomicznych aspektów jej wykorzystania. Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia nr 5, s. 25–28.
- NOGA B., KOSMA Z., 2011 — Obecny stan wykorzystania wód termalnych i energii geotermalnej w Polsce. Logistyka nr 6, s. 3069–3078.
- NOGA B., KOSMA Z., BIERNAT H., 2011 — Przegląd obecnie realizowanych projektów wykorzystania wód termalnych i energii geotermalnej na Niżu Polskim. Logistyka nr 6, s. 3079–3088.
- POSYNIAK A., 2009 — Dokumentacja otworowa otworu geotermalnego Toruń GT-1. Archiwum PG POLGEOL S.A.
- SMĘTKIEWICZ K., 2010 — Geotermia w Poddębicach – już coraz bliżej gorących wód. GLOBEnergia nr 5, s. 36–37.

ANALYSIS OF PARAMETERS OF GEOTHERMAL WELL LOCATED ON POLISH LOWLANDS FOR THE POSSIBILITY OF BUILDING THE BINARY POWER PLANTS WHICH ARE USING THE HEAT FROM INSIDE THE EARTH

ABSTRACT

This paper presents an overview of the binary power plants operating all over the world in the conditions similar to those prevailing in the Polish Lowlands. The paper is focused mainly on those power plants in which the thermal water's temperature is around 100°C. The parameters of the thermal water possible to raise on the Polish Lowlands are also analyzed by using already completed geothermal wells, in which the pumping test were performed.

KEY WORDS

Geothermal energy, thermal water, electricity, binary power plants, Polish Lowland

