

Barbara TOMASZEWSKA¹, Anna SOWIŹDŹAŁ¹, Anna CHMIEŁOWSKA¹

ROZWAŻANIA NAD KONCEPCJĄ ADAPTACJI OTWORÓW PONAFTOWYCH DO CELÓW GEOTERMALNYCH – PRZYKŁADY ROZWIĄZAŃ ŚWIATOWYCH

STRESZCZENIE

Energia geotermalna stanowi zrównoważone i przyjazne środowisku źródło energii odnawialnej, a jej eksploatacja nie jest uzależniona od warunków meteorologicznych. Częstym ograniczeniem dla realizacji nowych inwestycji geotermalnych jest wielkość kosztów inwestycyjnych związanych z prowadzeniem prac wiertniczych mających na celu udostępnienie zasobów geotermalnych. Rozwiązaniem wpływającym na efektywność ekonomiczną przedsięwzięć geotermalnych w niektórych przypadkach może się okazać ponowne wykorzystanie istniejących, nieeksploatowanych otworów sektora naftowego, zlokalizowanych w strefach o korzystnym potencjale geotermalnym. W artykule przedstawiono światowe koncepcje związane z wykorzystaniem odwiertów po eksploatacji złóż węglowodorów lub negatywnych otworów poszukiwawczych w celu pozyskiwania energii geotermalnej. Opisano wybrane koncepcje ukierunkowane na produkcję energii elektrycznej, sektor ciepłowniczy oraz inne potencjalne zastosowania technologiczne.

SŁOWA KLUCZOWE

Energia geotermalna, otwory ponaftowe, otworowy wymiennik ciepła

* * *

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Surowców Energetycznych, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: barbara.tomaszewska@agh.edu.pl

WPROWADZENIE

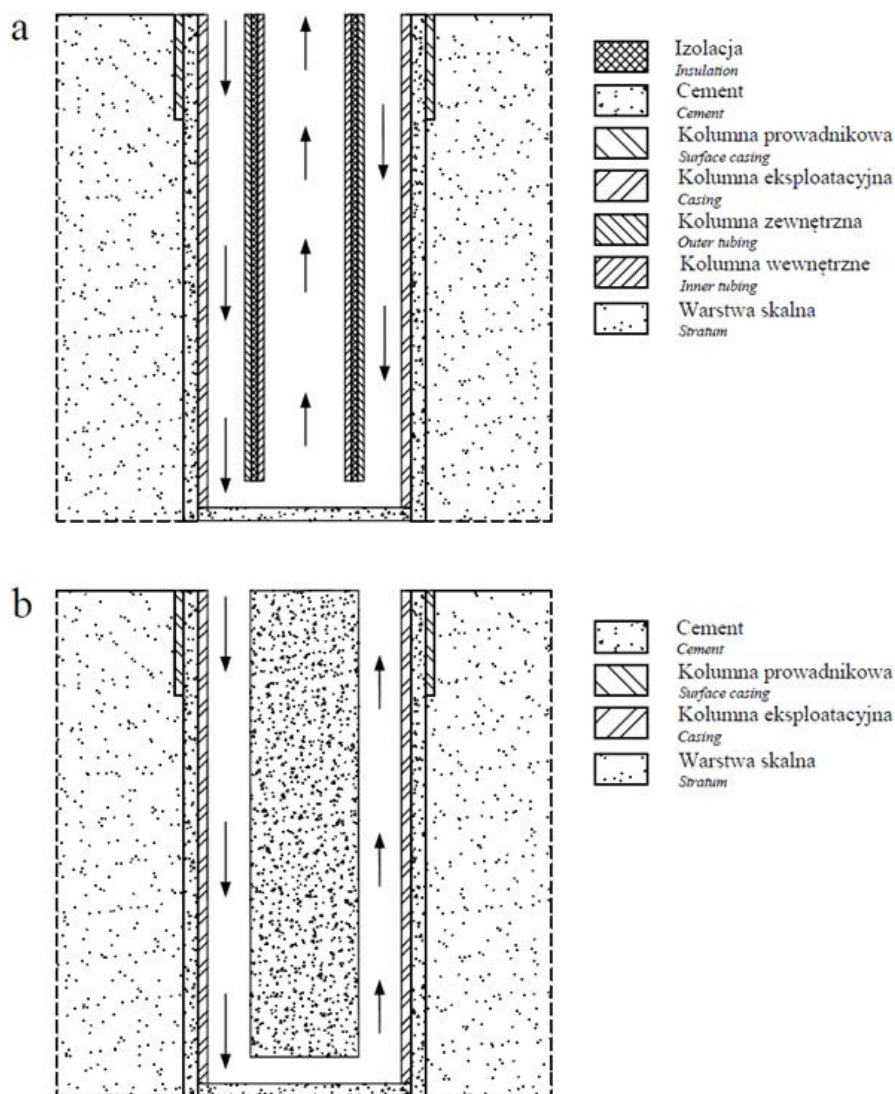
Energia geotermalna jest naturalnym ciepłem wnętrza Ziemi zgromadzonym w skałach (suche gorące skały, HDR) oraz płynach wypełniających pory i szczeliny skalne (zasoby hydrogeotermalne). Jako odnawialne źródło energii, stanowi ona alternatywę dla surowców konwencjonalnych, będących podstawą gospodarki współczesnego świata (Cheng i in. 2013). W zależności od temperatury medium geotermalnego, energia geotermalna znajduje zastosowanie w szeroko pojętym ciepłownictwie, rekreacji i balneoterapii, rolnictwie, przemyśle (Lund i Boyd 2016) oraz generacji energii elektrycznej (Bertani 2015). Udostępnianie zasobów energii geotermalnej jest możliwe dzięki głębokim otworom wiertniczym, które na obecnym etapie rozwoju technologicznego są jedynym racjonalnym rozwiązaniem. Nie mniej jednak etap wierceń stanowi największe obciążenie finansowe każdej inwestycji geotermalnej – średnio do 70% całkowitych kosztów inwestycyjnych, często czyniąc je ekonomicznie nieopłacalnym (Caulk i Tomac 2017). Skłania to do poszukiwania innych rozwiązań, które umożliwią efektywne i ekonomicznie uzasadnione pozyskiwanie energii geotermalnej.

Każdego roku, wskutek wyczerpania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego opuszczanych/likwidowanych jest coraz więcej otworów eksploatacyjnych. Jak pokazują statystyki, liczba opuszczonych dotychczas odwiertów naftowych na całym świecie sięga nawet 30 milionów (Nian i Cheng 2018a; Caulk i Tomac 2017). Dodatkowo wiele z nich jest zlokalizowanych na obszarach charakteryzujących się korzystnymi parametrami geotermalnymi, co często przekłada się na znaczący potencjał geotermalny. Możliwość transformacji otworów ponaftowych na otwory geotermalne może skutkować nie tylko ograniczeniem kosztów inwestycyjnych związanych z pominięciem etapu wierceń (Bu i in. 2012; Caulk i Tomac 2017), czy zwiększeniem wykorzystania zasobów geotermalnych, ale także ograniczeniem zagrożenia dla środowiska naturalnego (Thiessen i Achari 2016). Dlatego ponowne zagospodarowanie odwiertów ponaftowych w celu pozyskiwania energii geotermalnej jest niezwykle pożądanym rozwiązaniem i stanowi przedmiot badań naukowców na całym świecie. Rozważają oni różnorodne koncepcje pozyskiwania zarówno energii cieplnej (Bu i in. 2012; Templeton i in. 2014; Nian i Cheng 2018b), jak i produkcję energii elektrycznej (Davis i Michaelides 2009; Cheng i in. 2013; Wight i Bennett 2015), w zależności od warunków termalnych danego regionu.

Należy także zwrócić uwagę na powszechnie stosowane w literaturze międzynarodowej pojęcie opuszczonych odwiertów naftowych (ang. *abandoned oil and gas wells*), które w rzeczywistości odnosi się nie tylko do otworów, które zostały zlikwidowane w skutek wyczerpania złóż węglowodorów czy nierentownej eksploatacji zasobów ropy naftowej i gazu ziemnego, ale także uwzględnia stare, negatywne otwory poszukiwawcze (Cheng i in. 2013; Templeton i in. 2014; Caulk i Tomac 2017). W niniejszej pracy skupiono się na zagadnieniach związanych z zagospodarowaniem wspomnianych otworów w celu pozyskiwania energii geotermalnej, rozważając szczególnie zamknięte systemy geotermalne.

1. KONCEPCJA ADAPTACJI ODWIERTÓW PONAFTOWYCH – SYSTEMY ZAMKNIĘTE

Prowadzone aktualnie badania dotyczące oceny możliwości wykorzystania istniejących odwiertów naftowych, w celu pozyskiwania energii geotermalnej są w większości ukierunkowane na wdrożenie technologii otworowych wymienników ciepła – współosiowych (rys. 1a) oraz w formie U-rurki (rys. 1b). Jak podaje Templeton i in. (2014), istnieje zaledwie jedno



Rys. 1. Otworowy wymiennik ciepła: a – współosiowy; b – w formie U-rurki; na podstawie (Nian i Cheng 2018a; Wight i Bennett 2015)

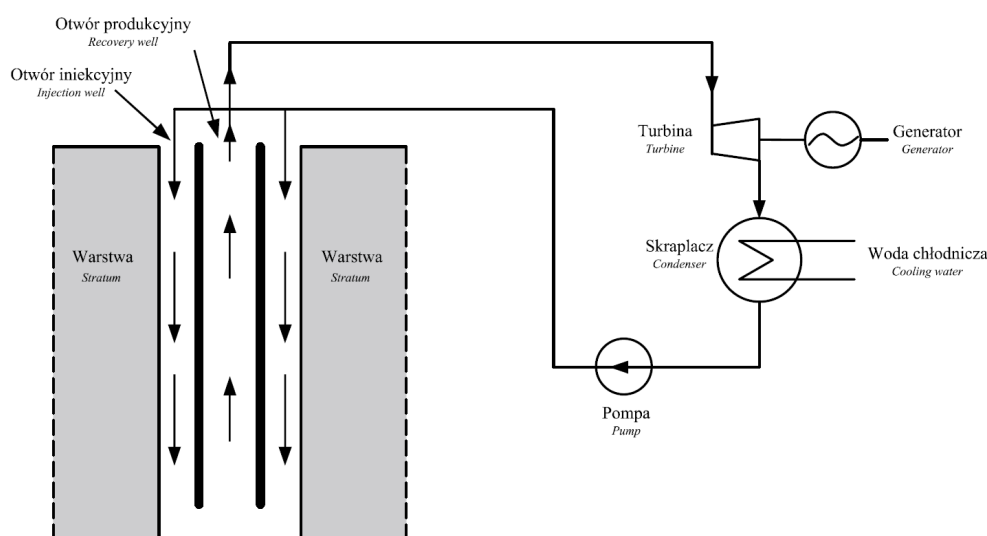
Fig. 1. Wellbore heat exchanger: a – coaxial; b – U-pipe; based on (Nian & Cheng 2018a; Wight & Bennett 2015)

opracowanie, w którym dyskutowano numeryczny model opisujący wydajność otworowego wymiennika ciepła typu U-rurka działającego w starym odwiercie łożyskowym. Nieco lepiej prezentuje się tematyka współosiowych wymienników otworowych pracujących na starych odwiertach eksploatacyjnych, którymi zajmowali się m.in.: Davis i Michaelides (2009), Bu i in. (2012) czy Cheng i in. (2013, 2014, 2016).

1.1. Produkcja energii elektrycznej i ciepłownictwo

Koncepcja adaptacji otworów po eksploatacji węglowodorów do pozyskiwania energii geotermalnej (na cele ciepłownicze) opiera się głównie na wykorzystaniu otworowego wymiennika ciepła w wersji współosiowej (rys. 1a). Templeton i in. (2014) skupili się przede wszystkim na opracowaniu modelu wymiany ciepła zachodzącej między wymiennikiem a górotworem. Swoje rozważania oparli na rzeczywistych wartościach parametrów dotyczących skał, jak i otworu, odnosząc je do obszaru Zatoki Perskiej. Z kolei Nian i Cheng (2018b) poddali ocenie możliwość ogrzewania wirtualnego budynku (powierzchnia 10 000 m²), rozważając odwiert łożyskowy zlokalizowany w obrębie pola łożyskowego Shengli w Chinach (głębokość 3000 m; gradient 33°C/km) jako otworowy wymiennik ciepła (rys. 1a). W swoich badaniach dowiedli oni, że przedstawiona koncepcja, w danych warunkach geotermalnych, może zostać efektywnie wykorzystana zarówno do ogrzewania budynku, jak i stanowić wsparcie dla istniejącego źródła ciepła (Nian i Cheng 2018b). Autorzy podkreślili jednocześnie znaczenie ekologiczne i ekonomiczne analizowanej inwestycji. Bu i in. (2012) w głównej mierze skupili się na produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem otworu łożyskowego o głębokości 4000 m (gradient 25–45°C/km). Nie mniej jednak w swojej pracy stwierdzili oni, iż teoretycznie możliwe jest kaskadowe wykorzystanie pozyskanej energii – poza produkcją energii elektrycznej, zużyta woda charakteryzowała się wysoką temperaturą (ok. 60°C) umożliwiającą jej wykorzystanie na cele ciepłownicze (Bu i in. 2012).

Wykorzystanie odwiertów łożyskowych do generowania energii elektrycznej zaprezentowali m.in. Davis i Michaelides (2009). W celu przeprowadzenia analizy, autorzy wyselekcjonowali otwór na terenie Teksasu (Stany Zjednoczone) o głębokości 3000 m i temperaturze na dnie otworu równej 140°C. Przedstawili oni koncepcję opartą na otworowym wymienniku ciepła w wersji współosiowej (rys. 1a). Jako czynnik roboczy zastosowali izobutan, a produkcja energii elektrycznej zachodziła w systemie binarnym opartym na obiegu organicznym Rankine’a (rys. 2). Autorzy skupili się głównie na wartościach gradientu geotermalnego, głębokości otworu oraz optymalizacji średnicy kanału wewnętrznego. Dowiedli, iż uzyskana moc (średnio 2–3 MW) zależy głównie od temperatury na dnie otworu, ciśnienia i prędkości zatłaczania oraz geometrycznej charakterystyki wymiennika ciepła (średnica, grubość izolacji termicznej). W wyniku przeprowadzonego modelowania autorzy uzyskali maksymalny wynik 3,4 MW mocy elektrycznej dla przeciętnego otworu łożyskowego w południowym Teksasie, wskazując warunki temperatury na poziomie 177°C i ciśnienia zatłaczania w wysokości 30 bar za wystarczające i najbardziej optymalne (Davis i Michaelides 2009).



Rys. 2. Schemat produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem koncentrycznego wymiennika ciepła i obiegu organicznego Rankine'a; na podstawie (Davis i Michaelides 2009)

Fig. 2. Diagram of geothermal power generation with coaxial heat exchanger and organic Rankine cycle ORC; based on (Davis & Michaelides 2009)

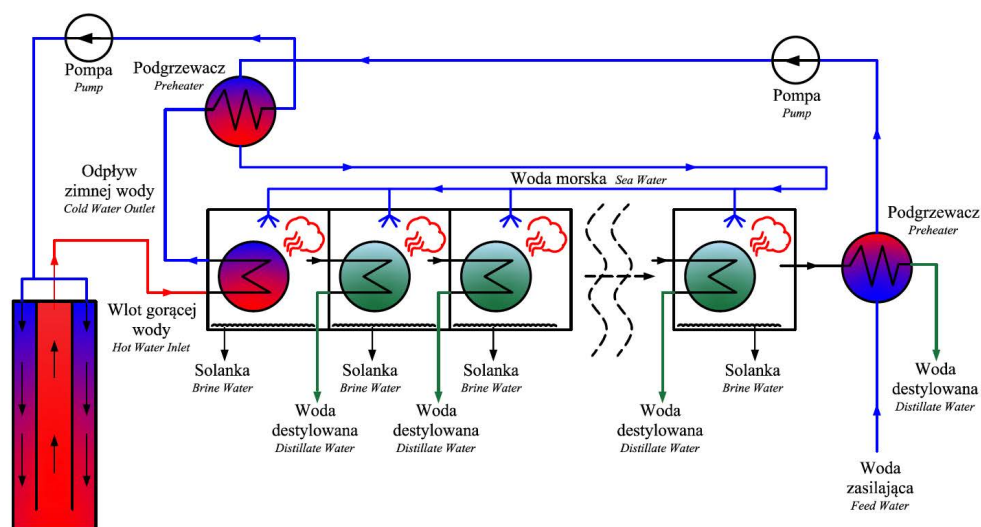
Wspomniane prace stały się inspiracją i jednocześnie podstawą do prowadzenia dalszych badań nad możliwością wykorzystania otworowych wymienników ciepła jako technologii wykorzystania otworów łożyskowych (Nian i Cheng 2018b). Bu i in. (2012) pochylił się również nad zagadnieniem dotyczącym zależności między wielkością produkcji energii elektrycznej oraz uzysku energii cieplej a doborem odpowiedniego strumienia objętościowego czynnika roboczego, przy określonych wartościach gradientu geotermalnego. Dodatkowo dowiedli, iż adaptacja odwiertów po zakończonej eksploatacji węglowodorów może zredukować koszty inwestycyjne przedsięwzięcia geotermalnego nawet o 50% (Bu i in. 2012). Z kolei Ghoreishi-Madiseh i in. (2012) opracowali trójwymiarowy model wymiany ciepła między górotworem a otworowym wymiennikiem ciepła, ukazując między innymi znaczenie (uprzednio pomijanego) procesu naturalnej (lub wymuszonej) filtracji wody podziemnej. Natomiast naukowcy z Chin przedstawili innowacyjny model obliczeniowy dotyczący wymiany ciepła (Cheng i in. 2013). Skupili się także na przeanalizowaniu wpływu danego rodzaju czynnika roboczego (rozważono 7 czynników organicznych) na proces przekazywania ciepła i w konsekwencji na wielkość produkcji energii elektrycznej (Cheng i in. 2014). Z kolei Ebrahimi i Torshizi (2012) odnieśli swoje badania do znaczenia skali podejmowanych transformacji (siatka otworów) sugerując, iż wykorzystanie co najmniej dwóch otworów poeksploatacyjnych sprawia, iż system staje się bardziej niezawodny i może przynieść wymierne korzyści natury ekonomicznej.

1.2. Inne zastosowania technologiczne

Dotychczas naukowcy skupiali się głównie na wykorzystaniu starych otworów wiertniczych zaadaptowanych na otworowe wymienniki ciepła w celu pozyskiwania energii cieplnej (także do produkcji energii elektrycznej). Nie mniej jednak zainteresowanie zagadnieniem wykorzystania otworów ponaftowych skłoniło naukowców do poszukiwania innych zastosowań. Jednymi z bardziej interesujących wydają się być ocena możliwości akumulowania energii słonecznej z wykorzystaniem otworowego wymiennika ciepła, którą przedstawił Templeton i in. (2016), czy wdrożenia systemu odsalania wody morskiej zaprezentowanego przez Noorollahiego i in. (2015, 2017).

Zagadnienie efektywnego magazynowania energii jest przedmiotem badań naukowców na całym świecie, a opracowanie odpowiedniego rozwiązania technologicznego mogłoby rozwiązać problem stale rosnącego zapotrzebowania na energię. Templeton i in. (2016) podjęli próbę opracowania systemu akumulowania energii słonecznej (poprzez pozyskiwanie jej za pośrednictwem kolektorów słonecznych) w postaci energii cieplnej (odwiert ponaftowy zaadoptowany na otworowy wymiennik ciepła typu współosiowego – rys. 1a). W swojej pracy oparli się na opracowanym wcześniej modelu wymiany ciepła (Templeton i in. 2014) oraz jego porównaniu z modelem zaproponowanym przez zespół Bu i in. (2012). W przedstawionym scenariuszu, przez okres pięciu najcieplejszych miesięcy roku, energia słoneczna jest zatłaczana i akumulowana pod powierzchnią terenu (głębokość 200 m), aby przez siedem zimowych miesięcy mogła stanowić źródło ciepła. Analizę przeprowadzono dla kilku wariantów operacyjnych, rozważając warunki klimatyczne oraz parametry geotermalne typowe dla północnej Kanady. W efekcie autorzy dowiedli, iż hybrydowy system solarno-geotermalny, działający w oparciu o jeden odwiert ponaftowy, osiąga efektywną wydajność operacyjną, generując oszczędności rzędu 20% w okresie 15 lat (zastępując system ogrzewania gazem ziemnym). Ponadto podkreślili znaczenie skali potencjalnego przedsięwzięcia, zwracając uwagę na multiplikację korzyści w przypadku adaptacji sieci otworów ponaftowych (Templeton i in. 2016).

Odsalanie wód jest niezwykle istotnym zagadnieniem współczesnego świata, przede wszystkim ze względu na ograniczone zasoby i dostępność wody słodkiej. Proces odsalania wód wymaga dostarczenia pewnej ilości energii cieplnej (technologia termalna) oraz elektrycznej (technologia membranowa), która może zostać zapewniona poprzez wykorzystanie energii geotermalnej. Noorollahi i in. (2015) przeanalizowali uzyski energetyczne możliwe do osiągnięcia w efekcie potencjalnej readaptacji odwiertu ponaftowego na otworowy wymiennik ciepła typu współosiowego (rys. 1a), zlokalizowanego w Ahwaz (południowy Iran). Następnie wyniki przeprowadzonych badań wykorzystali w celu zaprojektowania systemu termalnego odsalania wody morskiej (Noorollahi i in. 2017). W zaproponowanym systemie (rys. 3), woda wpompowana do otworu wędrując wzdłuż ścian wymiennika ogrzewa się osiągając temperaturę bliską 100°C. Następnie jest kierowana na próżniowy wymiennik ciepła, gdzie oddaje ciepło wodzie morskiej – w efekcie woda morska odparowuje, a substancje mineralne wytrącają się w skutek zmiany temperatury. W kolejnych etapach procesu odsa-



Rys. 3. Schemat procesu odsalania wody morskiej z wykorzystaniem otworu ponafowego; na podstawie (Noorollahi i in. 2017)

Fig. 3. Process diagram of geothermal seawater desalination using abandoned oil well; based on (Noorollahi et al. 2017)

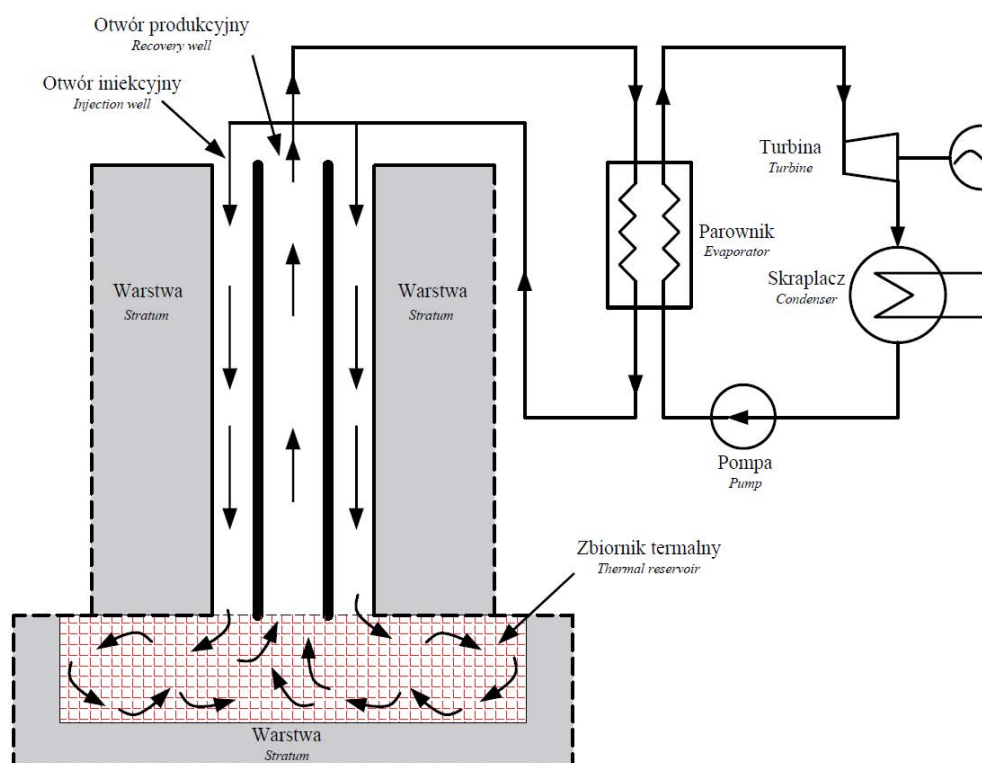
lania, para działa jako nośnik ciepła ogrzewając kolejne porcje wody morskiej, aż do pełnej kondensacji pary wodnej w podgrzewaczu. Temperatura wody zasilającej (woda morska) wzrasta i proces jest kontynuowany. Dodatkowo zastosowany został drugi podgrzewacz, który odbiera ciepło od wody powracającej do otworowego wymiennika ciepła (Noorollahi i in. 2017).

2. KONCEPCJA ADAPTACJI ODWIERTÓW PONAFTOWYCH – SYSTEMY OTWARTE

Tematyka wdrożenia otwartych systemów geotermalnych opartych na tzw. opuszczonych odwiertach naftowych jest przedmiotem zainteresowania naukowców i przedsiębiorców na całym świecie. W wielu krajach świata już zrealizowano projekty polegające na adaptacji odwiertów naftowych w celu pozyskiwania energii geotermalnej (zasoby hydrotermalne) w systemach otwartych, lub aktualnie są one w trakcie realizacji. Należą do nich m.in. Albania, Chiny, Chorwacja, Izrael, Nowa Zelandia, Polska, Węgry czy chociażby Stany Zjednoczone (Templeton i in. 2014). Warto zaznaczyć, że systemy otwarte wymagają (w większości przypadków) obecności zasobów wodnych oraz pracy co najmniej jednego otworu eksploatacyjnego.

Nowatorskim podejściem okazuje się próba połączenia adaptacji otworów naftowych z technologią wspomaganym systemów geotermalnych (ang. *Enhanced Geothermal Systems*; EGS), co w swoich pracach dyskutują Cheng i in. (2016) oraz Caulk i Tomac (2017).

Szczególnie interesujące wydaje się być podejście badaczy ze Stanów Zjednoczonych (Caulk i Tomac 2017), którzy przeanalizowali stosowność adaptacji opuszczonych odwiertów łożyskowych w Kalifornii (trzy lokalizacje: Santa Clara, Santa Barbara i Monterey) dla technologii EGS oraz otworowych wymienników ciepła. Jak podają Caulk i Tomac (2017), analizowane obszary charakteryzują się gradientem geotermalnym w zakresie 40–73°C/km, co wskazuje, iż warunki termiczne są wystarczające dla wdrożenia niskotemperaturowego EGS – m.in. na cele ciepłownicze (domy, szklarnie). Niemniej jednak problem stanowią słabo skonsolidowane skały osadowe regionu, będące ograniczeniem w kontekście przeprowadzenia zabiegu szczelinowania ośrodka skalnego – niezbędnego dla wdrożenia technologii EGS. W związku z powyższym realna ocena możliwości technicznych analizowanego systemu jest niemożliwa, natomiast przeprowadzona analiza ekonomiczna wskazuje na redukcję kosztów inwestycyjnych potencjalnego projektu w zakresie 42–95% (Caulk i Tomac 2017). Nieco inne podejście wykazują Cheng i in. (2016), którzy skupili się na przeanalizowaniu możliwości połączenia technologii EGS z otworowym wymiennikiem ciepła (rys. 4), w celu



Rys. 4. Schemat produkcji energii elektrycznej z wykorzystaniem technologii EGS, koncentrycznego wymiennika ciepła i obiegu organicznego Rankine'a; na podstawie (Cheng i in. 2016)

Fig. 4. Diagram of geothermal power generation with EGS technology, coaxial heat exchanger and organic Rankine cycle; based on (Cheng et al. 2016)

produkcji energii elektrycznej. Założenia (warunki początkowe i brzegowe) oraz wyniki uzyskane wskutek modelowania zostały porównane z danymi eksperymentalnymi z m.in. Fenton II, Soultz II i III oraz Los Alamos I, wskazując na poprawność prowadzonej analizy. Symulacja wymiany ciepła zakładała sprzężenie modelu przepływu ciepła wewnątrz zbiornika termalnego (model 2D) przy stałych wartościach porowatości i przepuszczalności z modelem (1D) transportu ciepła wzdłuż otworu (Cheng i in. 2016). Rozważono zmienne parametry zbiorników termalnych (m.in. głębokość, rozmiar, porowatość) wykazując ich wpływ na wartość generowanej energii. W efekcie autorzy wykazali, iż zaproponowany system jest w stanie dostarczyć czterokrotnie więcej energii cieplnej, a przez to elektrycznej w stosunku do powszechnie rozważanego otworowego wymiennika ciepła z obiegiem zamkniętym (Cheng i in. 2016).

PODSUMOWANIE

Wykorzystanie otworów ponaftowych (badawczych, poszukiwawczych czy eksploatacyjnych) jest jednym z głównych kierunków rozwoju światowego sektora energii geotermalnej. Prowadzone badania są ukierunkowane na opracowanie technologii umożliwiającej efektywne i ekonomicznie opłacalne pozyskiwanie energii elektrycznej i cieplnej, w sposób zgodny z rygorystycznymi wymaganiami środowiskowymi i wpisujący się w politykę energetyczną. Jak dowodzą liczne opracowania, readaptacja otworów ponaftowych nie tylko ogranicza ich negatywny wpływ na środowisko naturalne, ale także podnosi opłacalność ekonomiczną przedsięwzięcia geotermalnego redukując koszty inwestycyjne nawet o 50%. W pracy przytoczono szerokie spektrum technologii wykorzystywanych w procesie pozyskiwania energii cieplnej i elektrycznej – otworowe wymienniki ciepła, systemy eksploatacji otwartej oraz wspomagane systemy geotermalne. Systemy eksploatacji otwartej oparte na starych otworach eksploatacyjnych sektora naftowego zostały z sukcesem uruchomione w licznych krajach świata. Inaczej prezentuje się sytuacja w kontekście systemów zamkniętych. Jak można zauważyć, szczególnie rozważanym zagadnieniem jest właśnie podniesienie efektywności wykorzystania otworowych wymienników ciepła (typu współosiowego), a także ocena możliwości wdrożenia technologii EGS pozwalającej na pozyskiwanie energii z gorących nieprzepuszczalnych lub słabo przepuszczalnych formacji skalnych. Podsumowując, prowadzone badania dowodzą, iż wykorzystanie otworów ponaftowych jest możliwe w strefach wykazujących korzystny potencjał geotermalny (gradient geotermalny, strumień ciepła) i w wielu przypadkach ekonomicznie uzasadnione.

Praca została przygotowana w ramach pracy statutowej nr 11.11.140.031 oraz grantu nr 15.11.140.189.

LITERATURA

- Bertani, R. 2016. Geothermal power generation in the world 2010–2014 update report. *Geothermics* 60, s. 31–43.
- Bu i in. 2012 – Bu, X., Ma, W. i Li, H. 2012. Geothermal energy production utilizing abandoned oil and gas wells. *Renewable Energy* 41, s. 80–85.
- Caulk, R.A. i Tomac, I. 2017. Reuse of abandoned oil and gas wells for geothermal energy production. *Renewable Energy* 112, s. 388–397.
- Cheng i in. 2013 – Cheng, W.L., Li, T.T., Nian, Y.L. i Wang, C.L. 2013. Studies on geothermal power generation using abandoned oil wells. *Energy* 59, s. 248–254.
- Cheng i in. 2016 – Cheng, W.L., Liu, J., Nian, Y.L. i Wang C.L. 2016. Enhancing geothermal power generation from abandoned oil wells with thermal reservoir. *Energy* 109, s. 537–545.
- Cheng i in. 2014 – Cheng, W.L., Li, T.T., Li, T.T., Nian, Y.L. i Xie K. 2014. Evaluation of working fluids for geothermal power generation from abandoned oil wells. *Applied Energy* 118, s. 238–245.
- Davis, A.P i Michaelides E.E. 2009. Geothermal power production from abandoned oil wells. *Energy* 34, s. 866–872.
- Ebrahimi, M. i Torshizi, S.E.M. 2012. Optimization of power generation from a set of low temperature abandoned gas wells, using organic Rankine cycle. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 4, s. 63–133.
- Ghoreishi-Madiseh i in. 2012 – Ghoreishi-Madiseh, S.A., Hassani, F.P. i Al-Khawaja, M.J. 2012. A novel technique for extraction of geothermal energy from abandoned oil wells. [W:] *Proceedings of the world renewable energy forum*, WREF, 3, s. 1873–1878.
- Lund, J.W. i Boyd, T.L. 2016. Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Geothermics* 60, s. 66–93.
- Nian, Y.L. i Cheng, W.L. 2018a. Insight into geothermal utilization of abandoned oil and gas wells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 87, s. 44–60.
- Nian, Y.L. i Cheng, W.L. 2018b. Evaluation of geothermal heating from abandoned oil wells. *Energy* 142, s. 592–607.
- Noorollahi i in. 2015 – Noorollahi, Y., Pourarshad, M., Jalilinasrabad, S. i Yousefi, H. 2015. Numerical simulation of power production from abandoned oil wells in Ahwaz oil field in southern Iran. *Geothermics* 55, s. 16–23.
- Noorollahi i in. 2017 – Noorollahi, Y., Taghipoor, S. i Sajadi, B. 2017. Geothermal sea water desalination system (GSWDS) using abandoned oil/gas wells. *Geothermics* 67, s. 66–75.
- Templeton i in. 2014 – Templeton, J.D., Ghoreishi-Madiseh, S.A., Hassani, F. i Al-Khawaja, M.J. 2014. Abandoned petroleum wells as sustainable source of geothermal energy. *Energy* 70, s. 366–373.
- Templeton i in. 2016 – Templeton, J.D., Hassani, F. i Ghoreishi-Madiseh, S.A. 2016. Study on effective solar energy storage using a double pipe geothermal. *Renewable Energy* 86, s. 173–181.
- Thiessen, R.J. i Achari, G. 2016. Abandoned oil and gas well site environmental risk estimation. *Toxicological & Environmental Chemistry* 99 (7–8), s. 1170–1192.
- Wight, N.M. i Bennett, N.S. 2015. Geothermal energy from abandoned oil and gas wells using water in combination with a close wellbore. *Applied Thermal Engineering* 89, s. 908–915.

CONSIDERATIONS ON THE CONCEPT OF ADAPTING ABANDONED OIL AND GAS WELLS FOR GEOTHERMAL PURPOSES – EXAMPLES OF GLOBAL SOLUTIONS

ABSTRACT

Geothermal energy is a sustainable and environmentally-friendly source of renewable energy, and its operation is not dependent on meteorological conditions. Nevertheless, the investment costs associated mainly with drilling works aimed at accessing geothermal resources is a common limitation for the implementation of new geothermal projects. The solution affecting the economic efficiency of geothermal investments may in some cases be a reuse of existing, un-exploited boreholes of the oil and gas sector, located in areas with favorable geothermal potential. The article presents global concepts related to the reuse of wells after the exploitation of hydrocarbon deposits or negative exploratory wells in order to exploit geothermal energy resources. Concepts focused on electricity production, the space heating sector and other possible technologic application are discussed.

KEYWORDS

Geothermal energy, oil and gas wells, borehole heat exchanger (BHE)

