

WYKORZYSTANIE ENERGII GEOTERMALNEJ DO PRODUKCJI CIEPŁA I ENERGII ELEKTRYCZNEJ W POLSCE

Władysław NOWAK, Aleksander A. STACHEL
Politechnika Szczecińska, Katedra Techniki Ciepłej
al. Piastów 17, 70-310 Szczecin, tel. (0-91) 449-42-72, fax: (0-91) 449-45-91
e-mail: andrzej.stachel@ps.pl

STRESZCZENIE

Korzystne warunki geologiczne stwarzają duże możliwości wykorzystania w Polsce wód geotermalnych dla celów energetycznych. Problematyka dotycząca wykorzystania energii geotermalnej dla celów grzewczych jest dość dobrze rozeznana, o czym świadczy sześć pracujących ciepłowni geotermalnych. Obecnie prowadzone są prace nad wykorzystaniem energii geotermalnej do produkcji energii elektrycznej.

SŁOWA KLUCZOWE: energia geotermalna, wykorzystanie energii geotermalnej, ciepłownie geotermalne, elektrownie geotermalne, elektrociepłownie geotermalne

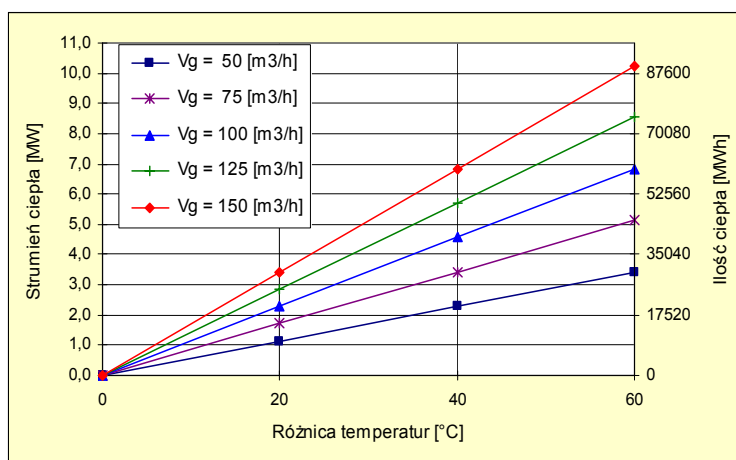
WPROWADZENIE

Uwarunkowania występowania wód geotermalnych w Polsce i potencjalne zasoby zawartej w nich energii zostały szeroko omówione w pracach: (Górecki, 1996), (Sokołowski, 1997). Wynika z nich, że na obszarze Polski znajduje się około 6600 km³ wód geotermalnych o temperaturze od 25°C do 120°C. Ich zasoby są dość równomiernie rozmieszczone w wydzielonych basenach i subbasenach geotermalnych zaliczanych do określonych prowincji i okręgów geotermalnych, przy czym ponad 90% zasobów wód wglębnych znajduje się na obszarze Niżu Polskiego, w polskiej części geotermalnej prowincji środkowoeuropejskiej. Korzystne warunki hydrogeologiczne stwarzają duże możliwości wykorzystania tych wód do celów energetycznych, przy czym problematyka dotycząca wykorzystania energii geotermalnej dla celów grzewczych jest dość dobrze rozeznana, o czym świadczy sześć pracujących ciepłowni geotermalnych. Aktualnie w Polsce prowadzone są prace nad wykorzystaniem energii geotermalnej do produkcji energii elektrycznej.

KONCEPCJA WYKORZYSTANIA ENERGII GEOTERMALNEJ

Najbardziej efektywnym i najprostszym sposobem zagospodarowania energii wód geotermalnych jest ich zastosowanie do ogrzewania w gospodarce komunalnej, w rolnictwie, w procesach technologicznych, jako wspomaganie konwencjonalnych ciepłowni oraz użycie jako źródła energii w siłowniach niskotemperaturowych. Różnorodność możliwych rozwiązań technicznych i struktura urządzeń służących do pozyskania ciepła z wnętrza ziemi wynikają z konieczności dostosowania rodzaju i wielkości ujęcia geotermalnego do potrzeb i parametrów instalacji odbiorczej ciepła, przy uwzględnieniu lokalnych warunków technicznych oraz wyników rachunku ekonomicznego (Kabat i inni 1999), (Lound, 2000), (Nowak i inni, 2000), (Nowak i Stachel, 2004), (Sobański i inni, 2000). Wiąże się to z tym, że zapotrzebowanie ciepła przez jego odbiorców jest najczęściej zmienne w czasie. Dotyczy to w szczególności zapotrzebowania na ciepło do ogrzewania pomieszczeń, którego ilość zależy od temperatury zewnętrznej. Podstawą określenia ilości ciepła grzejnego jest wykres uporządkowany, pomocny zwłaszcza przy wyborze systemów do odbioru energii z wód geotermalnych, przy czym możliwe są tutaj trzy podstawowe układy, a mianowicie:

nie mają praktycznie wpływu na ilość przekazanego ciepła. Niewielka różnica temperatury między wodą sieciową a geotermalną, daje niewielkie wykorzystanie energii geotermalnej.



Rys. 2. Możliwości pozyskiwania energii geotermalnej ze złoża geotermalnego

W instalacjach geotermalnych najwłaściwszym rozwiązaniem jest stosowanie instalacji ogrzewania niskotemperaturowego. Ponieważ rozwiązanie to z różnych względów jest najczęściej niemożliwe, wskazane jest łączenie wysoko i niskotemperaturowych instalacji, czego przykładem może być np. łączenie kaskadowe odbiorników ciepła wymagających zasilania czynnikiem grzewczym o coraz niższej temperaturze (Nowak i Stachel, 1999), (Nowak i Stachel 2000), (Nowak i Stachel 2001).

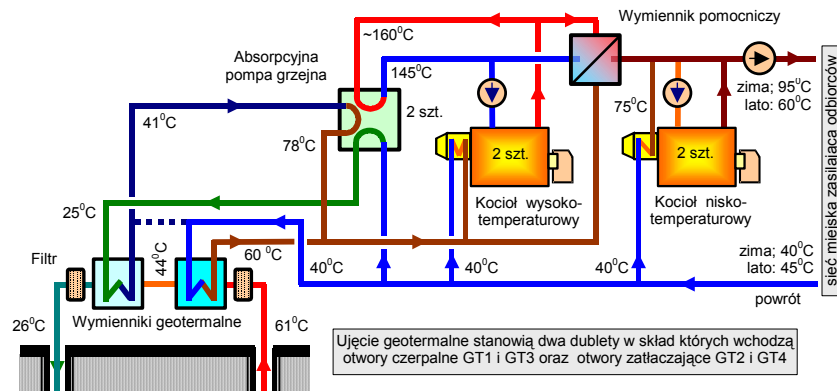
CIEPŁOWNIE GEOTERMALNE W POLSCE

W Polsce wykorzystanie wód geotermalnych do celów grzewczych zapoczątkowane zostało w ostatnim dziesięcioleciu. Do lat 90. ciepłe wody termalne wykorzystywane były w balneologii i rekreacji. W latach 1993-2004 uruchomiono sześć geotermalnych instalacji ciepłowniczych, których podstawowe dane podano poniżej (Nowak i Stachel, 2004).

Pierwszą polską ciepłownią geotermalną oddano do eksploatacji w roku 1994 w Bańskiej koło Zakopanego. Woda o temperaturze 86°C w złożu, pobierana jest z głębokości 2000–3000 m z maksymalną wydajnością $120\text{ m}^3/\text{h}$ i doprowadzana do wymiennika geotermalnego, a następnie po oddaniu w nim ciepła zatłaczana do tej samej warstwy wodonośnej. Podgrzana w wymienniku woda sieciowa dostarcza ciepło do celów grzewczych i przygotowania ciepłej wody do około 200 budynków, kościoła i szkoły. W ciepło zasilany jest też doświadczalny system kaskadowy Laboratorium Geotermalnego PAN, złożony z: suszarni drewna, szklarni, budynku hodowli ryb, tuneli foliowych do upraw roślinnych i basenu kąpielowego.

Uruchomiona w 1996 roku w Pyrzycach gazowo-geotermalna ciepłownia o mocy 50MW, była pierwszą dużą instalacją w Polsce, wykorzystującą do produkcji ciepła ujęcie geotermalne o mocy maksymalnej 13 MW oraz szczytowe kotły gazowe. W układzie ciepłowni zastosowano absorbcyjne pompy grzejne, napędzane energią cieplną wytworzoną w kotłach wysokotemperaturowych. Woda wydobywana z głębokości 1500 - 1650 m, za pomocą dwóch dubletów o wydajność pojedynczego otworu $170\text{ m}^3/\text{h}$, przepływa przez zespół filtrów trafiając do geotermalnych wymienników ciepła. W wymienniku głównym ciepło wody geotermalnej przekazywane jest do wody sieciowej, podgrzewając ją do temperatury 60°C . Schłodzona woda geotermalna kierowana jest do drugiego wymiennika, gdzie ulega dalszemu ochłodzeniu do temperatury 26°C , po czym zatłaczana jest do ziemi. W drugim wymienniku geotermalnym podgrzewa się tylko część wody powrotnej z sieci

miejskiej, która najpierw ulega schłodzeniu do temperatury 25°C w parowaczach absorpcyjnych pomp grzewczych, a następnie została podgrzana w drugim wymienniku do temperatury 41°C. Do wody sieciowej opuszczającej wymienniki dopływają strumienie wody ogrzanej: w absorberach i skraplaczach pomp ciepła oraz w chłodnicach spalin kotłów szczytowych i kotłów wysokotemperaturowych. Całkowity strumień ogrzanej wody sieciowej dopływa do kotłów szczytowych, w których jest dogrzewany do wymaganej temperatury.



Rys. 3. Uproszczony schemat ciepłowni geotermalnej w Pyrzycach

Kolejną ciepłownię geotermalną oddano do użytku w 2000 roku w Mszczonowie. Woda o temperaturze 42°C, pobierana ze złoża znajdującego się na poziomie 1600 - 1700 m z wydajnością 60 m³/h, cechuje się niskim stopniem mineralizacji (0,5 g/l), co pozwala na jej docelowe wykorzystanie jako wody pitnej i w efekcie, na rezygnację z zatłaczania. Woda przepływa przez ekonomizer kotła wysokotemperaturowego, gdzie ogrzewa się do temperatury około 44°C, a następnie przez absorpcyjną pompę grzewczą, gdzie ulega schłodzeniu do temperatury około 20–30°C, skąd kierowana jest do chłodnicy wentylatorowej, a następnie do stacji uzdatniania. W ciepłowni zastosowano dwa niskotemperaturowe wodne kotły gazowe o mocy 2,4 MW każdy, pełniące rolę kotłów szczytowych. Źródłem energii napędowej dla absorpcyjnej pompy ciepła o mocy 2,7 MW jest kocioł wysokotemperaturowy o mocy 1,9 MW. Moc szczytowa instalacji wynosi 12 MW.

W roku 2001 została uruchomiona w Uniejowie ciepłownia wykorzystująca wodę o temperaturze 67-70°C, wypływającą z głębokości ponad 2000 m pod ciśnieniem 0,4 MPa. Woda o mineralizacji 6,8-8,8 g/m³ posiada właściwości lecznicze, co w przyszłości pozwoli na jej wykorzystanie do celów balneologicznych i rekreacyjnych.

W drugiej połowie lat 90. na Podhalu rozpoczęto budowę systemu ciepłowniczego, którego zadaniem będzie zaspokojenie potrzeb ciepłych Zakopanego i Nowego Targu oraz okolicznych miejscowości. W systemie tym, podstawowym źródłem energii jest nowa ciepłownia geotermalna wykorzystująca wody o temperaturze około 86°C, wydajności maksymalnej 550 m³/h i ciśnieniu statycznym ~2,7 MPa. Integralną część instalacji stanowi usytuowana w Zakopanem nowoczesna kotłownia szczytowa, wyposażona w dwa gazowe średnitemperaturowe kotły wodne oraz agregaty ciepłno-prądowe. Docelowo planowana jest rozbudowa sieci przesyłowej w kierunku Nowego Targu, gdzie powstanie druga kotłownia szczytowa. Po ukończeniu inwestycji będzie to największa w Polsce instalacja geotermalna, o mocy łącznej 125 MW.

Jesienią 2002 roku, w Słomnikach koło Krakowa została uruchomiona kolejna ciepłownia wykorzystująca energię zawartą w wodzie geotermalnej o temperaturze +17 °C, wydobywanej z głębokości 300 m, która stanowi dolne źródło ciepła dla sprężarkowej pompy ciepła umieszczonej w budynku kotłowni szczytowej, wyposażonej w niskotemperaturowe kotły wodne.

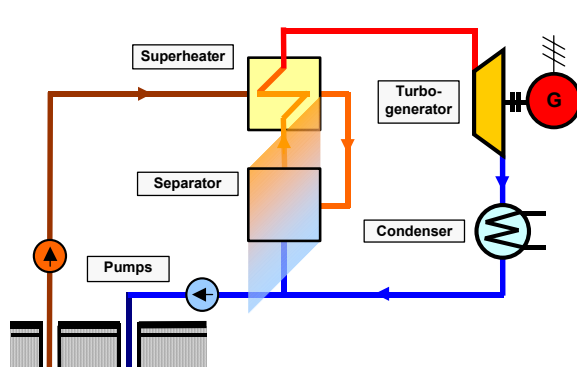
Obserwowane w ostatnich latach zainteresowanie energią geotermalną, skutkuje szeregiem prac analizujących możliwości budowy nowych ciepłowni geotermalnych, z czego najbardziej zaawansowane są prace przy budowie ujęcia w Stargardzie Szczecińskim.

WYKORZYSTANIE ENERGII GEOTERMALNEJ W ELEKTROWNI GEOTERMALNEJ

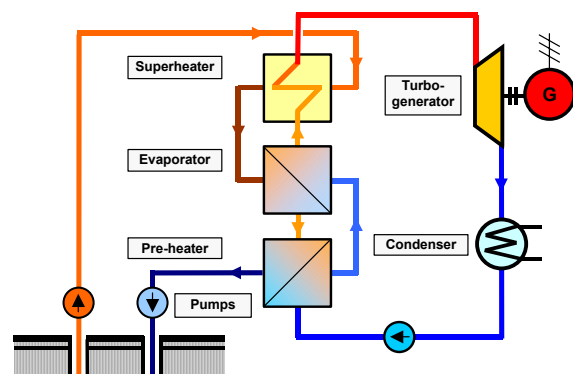
W 2000 r. moc zainstalowana różnych elektrowni geotermalnych na świecie wynosiła 7974 MW. Większość z nich wykorzystuje wody geotermalne o wysokiej entalpii, tj. o temperaturze powyżej 130°C. Tymczasem wody geotermalne w Polsce tylko w niektórych głębokich odwiertach mają temperaturę większą od 120°C (Chodkiewicz i inni, 2001), zaś w pracujących ciepłowniach geotermalnych temperatura wód nie przekracza 86°C.

Interesująca koncepcja wykorzystania energii geotermalnej do wspomaganie pracy elektrociepłowni została opracowana dla systemu ciepłowniczego Szczecina, zasilanego z dwóch konwencjonalnych elektrociepłowni opalanych węglem (Nowak i inni, 2000). Pomysł wykorzystania energii geotermalnej powstał w związku występowaniem pod miastem na dużych głębokościach znacznych zasobów ciepłych wód o temperaturze 80-86 °C. Jednym ze sposobów wykorzystania energii tych wód może być budowa ujęć geotermalnych w bezpośrednim sąsiedztwie elektrociepłowni i użycie pozyskanej tym sposobem ciepłej wody do wspomaganie produkcji ciepła sieciowego. Co prawda, parametry wody geotermalnej uniemożliwiają jej bezpośrednie użycie w głównym cyklu technologicznym, możliwe jest jednak wykorzystanie zgromadzonej w nich energii do wstępnego podgrzewania mediów technologicznych, takich jak: woda uzupełniająca i woda sieciowa. Jest to rozwiązanie interesujące ze względu na znaczne strumienie tych mediów, a co za tym idzie znaczne strumienie energii zużywanej do ich podgrzania.

Proponowane rozwiązanie nie dotyczy jednak bezpośredniego wykorzystania wód geotermalnych do produkcji energii elektrycznej. W elektrowniach wykorzystujących wody geotermalne o wysokiej entalpii, rozwiązaniem spotykanym najczęściej są systemy jednoczynnikowe (Shulman, 1995) z bezpośrednim odparowaniem wody zasilającej turbinę (rys. 4). Podobny układ został zaproponowany do wdrożenia w Politechnice Łódzkiej, gdzie woda geotermalna miała być pozyskiwana z dużej głębokości (Chodkiewicz i inni, 2001).



Rys. 4. Schemat elektrowni geotermalnej typu Single-Flash z przegrzewaczem pary

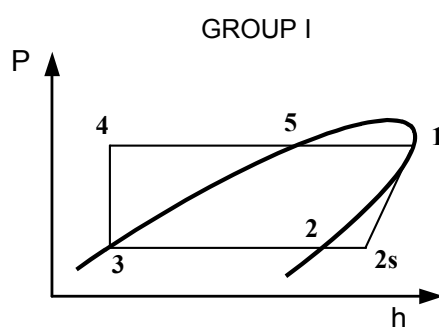


Rys. 5. Schemat elektrowni geotermalnej dwuczynnikowej z przegrzewaczem pary

Niewiele natomiast informacji związanych jest z wykorzystaniem do produkcji energii elektrycznej wód geotermalnych o średniej entalpii. Tymczasem wody te mogą być wykorzystywane w tzw. elektrowniach binarnych, bazujących na pośrednim odparowaniu niskowrzącego czynnika roboczego, której przykład podano na rysunku 5.

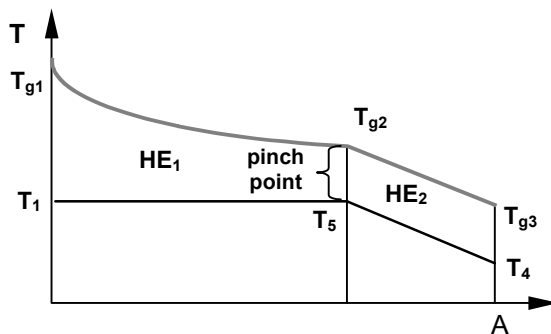
W elektrowniach binarnych istotnym jest rodzaj użytego czynnika roboczego oraz jego właściwości, do których należą: masa cząsteczkowa, temperatura rozkładu termicznego, normalna temperatura wrzenia, temperatura krytyczna, entalpia parowania oraz ciepło właściwe w stanie ciekłym i parowym (Gawlik i Hassani, 1998). Wszystkie czynniki niskowrzące, biorąc pod uwagę kształt linii nasycenia, można podzielić na dwie grupy. Do grupy pierwszej zaliczane są te czynniki, które cechują się tym, że izentropowa ekspansja zaczynająca się na linii nasycenia pary nasyconej suchej, odbywa się w obszarze pary przegrzanej. Do grupy drugiej zaliczamy czynniki, dla których ekspansja rozpoczyna się na linii nasycenia pary nasyconej suchej i odbywa się w obszarze pary nasyconej mokrej. W przypadku czynników niskowrzących grupy I, obieg C-R składa się z przemian (rys. 6):

- izobarycznego doprowadzania ciepła obejmującego podgrzanie cieczy i jej odparowanie,
- izentropowej ekspansji pary w turbinie,
- izobarycznego odprowadzania ciepła (schłodzenie pary oraz skraplanie czynnika),
- izentropowego sprężania kondensatu.



Rys. 6. Cykl przemian termodynamicznych dla obiegu C-R realizowanego w obszarze pary przegrzanej dla czynników niskowrzących grupy I

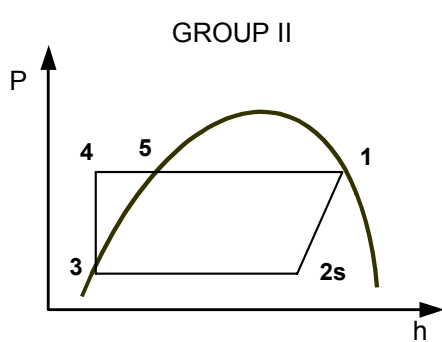
Schemat elektrowni pracującej wg powyższego cyklu przemian jest zbliżony do przedstawionego na rysunku 5, lecz pozbawiony przegrzewacza pary. W pracy (Nowak i Borsukiewicz, 2003) autorzy przedstawili wyniki obliczeń sprawności i mocy uzyskanych dla obiegu Clausiusa-Rankinea w przypadku użycia wybranych czynników obiegowych z grupy pierwszej. Maksymalną temperaturą w obiegu C-R jest temperatura odpowiadająca ciśnieniu nasycenia przemiany izobarycznej 5-1, podczas której następuje odparowanie czynnika niskowrzącego. Temperatura ta zależy od temperatury wody geotermalnej. Na rysunku 7 przedstawiono pole temperatur nośników ciepła dla wyżej omówionego obiegu C-R. W obliczeniach przyjęto tzw. temperaturę „pinch point” równą 5 K.



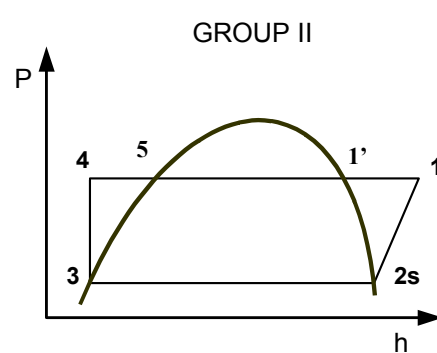
Rys. 7. Pole temperatur nośników ciepła obiegu niskowrzącego przy doprowadzaniu ciepła

W przypadku czynników niskowrzących z grupy drugiej, obieg C-R różni się od obiegu dla czynników grupy I. Można tutaj rozróżnić dwa przypadki przedstawione na

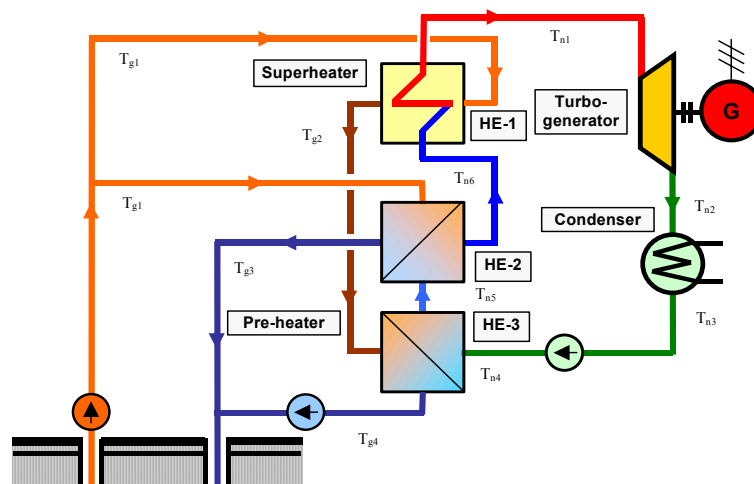
rysunkach 8 i 9. W przypadku pierwszym, izentropowa ekspansja zaczynająca się na linii pary nasyconej suchej, odbywa się w obszarze pary nasyconej mokrej (rys. 8). Natomiast w przypadku drugim zastosowano dodatkowe przegrzanie ($1'-1$) tak, aby izentropowa ekspansja przebiegająca w obszarze pary przegrzanej zakończona została na linii pary nasyconej suchej ($1-2s$) (rys. 9). Schemat binarnej elektrowni geotermalnej pracującej wg wyżej omówionego obiegu C-R przedstawiono na rys. 10.



Rys. 8. Cykle przemian termodynamicznych dla obiegu C-R, przy założeniu, że proces rozprężania w turbinie zaczyna się na linii pary nasyconej suchej



Rys. 9. Cykl przemian termodynamicznych dla obiegu C-R realizowanego w obszarze pary przegrzanej dla czynników niskowrzących z II grupy

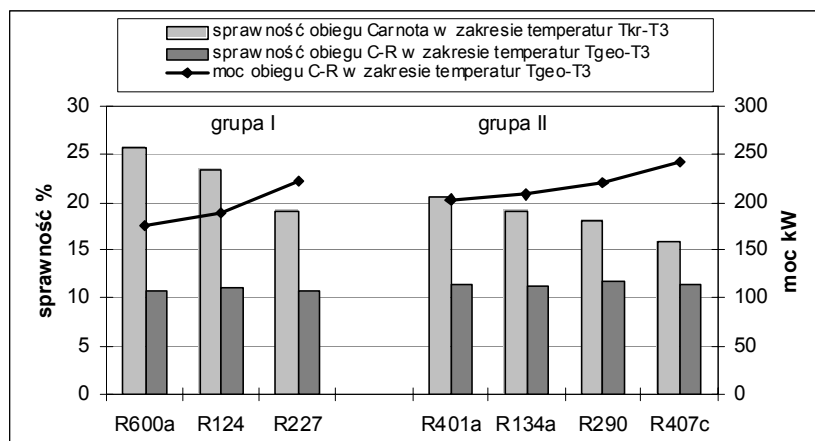


Rys. 10. Schemat binarnej elektrowni geotermalnej z przegrzewaniem pary czynnika

Do obliczeń obiegu C-R przedstawionego na rys. 6 i rys. 9. wybrano trzy czynniki z pierwszej grupy związków oraz cztery czynniki z grupy drugiej. Przy wyborze kierowano się zakresem ciśnień roboczych, dostępnością danych (Bonca i inni, 1998) oraz wskaźnikami ekologicznymi oceny czynników chłodniczych, wybierając związki o niskim potencjale niszczenia warstwy ozonowej oraz o niskim potencjale efektu cieplarnianego.

Przykładowe wyniki obliczeń pokazane są na rysunku 11. Rysunek ten ilustruje zależność sprawności i mocy geotermalnej obiegu C-R, pracującego z wybranymi czynnikami niskowrzącymi. Na rysunku zestawiono wartości sprawności i mocy obiegu C-R uzyskanych dla różnych czynników przy $T_{geo} = 90^{\circ}\text{C}$ i $T_3 = 30^{\circ}\text{C}$ i $V_{geo} = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ oraz sprawności obiegu Carnota obliczonej przy założeniu, że temperatura górnego źródła ciepła jest równa temperaturze krytycznej czynnika, natomiast temperatura dolnego źródła ciepła $T_3 = 30^{\circ}\text{C}$. Sprawność obiegu Clausiusa-Rankinea dla czynników niskowrzących obu grup w zakresie

temperatur $T_{geo} \div T_3$ waha się w niedużych granicach, $\eta_{C-R} = 10,73 - 11,78 \%$. Sprawność obiegu Carnota w zakresie temperatur $T_{kr} \div T_3$ zmienia się w granicach znacznie większych $\eta_{C-R} = 15,90 - 25,73 \%$. Ponadto z analizy wynika, że wielkość mocy uzyskanej dla czynników niskowrzących obu grup wzrasta, a sprawność obiegu Carnota maleje w zakresie temperatur $T_{kr} \div T_3$, przy, w przybliżeniu, zbliżonej sprawności obiegu Clausiusa-Rankina (Nowak, 2005).



Rys. 11. Sprawności i moc obiegu C-R dla różnych czynników

Na podstawie tych i innych wyników można stwierdzić, że określenie sprawności obiegu Clausiusa-Rankinea pracującego z płynem niskowrzącym jako czynnikiem roboczym jest niewystarczające do oceny energetycznej, ponieważ przy zbliżonej sprawności η_{C-R} dla różnych czynników, uzyskano różne wielkości mocy w obu ich grupach. Najwyższe wartości mocy obiegu C-R uzyskuje się dla tych czynników, dla których temperatura górnego źródła ciepła jest najbardziej zbliżona do temperatury krytycznej czynnika.

Przy wykorzystaniu wody geotermalnej o temperaturze rzędu 86°C , czyli takiej jaką dysponuje ujęcie geotermalne np. w Stargardzie Szczecińskim, można uzyskać przy strumieniu wydobywanej wody $100 \text{ m}^3/\text{h}$ moc teoretyczną rzędu 240 kW. Zwiększenie strumienia wydobywanej wody do $300 \text{ m}^3/\text{h}$ (maksymalne wydobycie wody z tego ujęcia) pozwoliłoby na trzykrotne zwiększenie mocy. Mając jednak na uwadze istniejące zapotrzebowanie ciepła na cele centralnego ogrzewania, najlepszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie zamiast elektrowni geotermalnej – geotermalnej elektrociepłowni

PODSUMOWANIE

W ostatnim okresie zaobserwowano znaczny wzrost zainteresowania wykorzystaniem energii geotermalnej dla celów energetycznych, w wyniku czego powstało kilka instalacji bazujących na energii ciepłych wód termalnych, których zadaniem jest wytwarzanie ciepła do celów grzewczych. Pracujące ciepłownie geotermalne różnią się między sobą stosowanymi rozwiązaniami technicznymi, wynikającymi przede wszystkim z odmiennych parametrów wód geotermalnych, wielkości pozyskiwanych mocy cieplnych oraz wielkości i rodzaju odbiorców ciepła.

Doświadczenia zdobyte w trakcie projektowania, budowy i eksploatacji istniejących instalacji geotermalnych umożliwiają lepsze i szybsze przygotowanie projektów oraz budowę i uruchamianie kolejnych inwestycji, uwzględniające między innymi lokalne uwarunkowania oraz aktualne i przyszłe zapotrzebowanie na energię cieplną. Jednym z istotnych wniosków jest to, że w celu zapewnienia opłacalności funkcjonowania instalacji geotermalnych wskazane jest kompleksowe zagospodarowanie pozyskiwanej energii, najlepiej w systemach

kaskadowego odbioru ciepła. Nieodzowną czynnością jest modernizacja istniejących sieci ciepłowniczych, węzłów ciepłych i instalacji w budynkach, którą należałoby prowadzić równoległe z budową ciepłowni geotermalnej.

Biorąc pod uwagę duże zasoby wód geotermalnych oraz istniejące opracowania studialne dotyczące możliwości ich wykorzystania w wielu miejscowościach w Polsce, można wyrazić pogląd, że w najbliższych latach liczba ciepłowni geotermalnych powinna wzrosnąć. Jednocześnie w licznych pracach podane zostały warunki sprzyjające wdrażaniu projektów ciepłowni geotermalnych. Ich budowa jest ekonomicznie uzasadniona przede wszystkim w miejscowościach o dużej liczbie mieszkańców i rozbudowanym przemyśle, którzy to odbiorcy gwarantują możliwie stały i duży odbiór energii cieplnej z ujęć geotermalnych.

Należy spodziewać się, że w pobliżu ciepłowni geotermalnych będą powstawać także inne obiekty wykorzystujące energię geotermalną. Mogą to być obiekty o przeznaczeniu typowo rekreacyjnym, takie jak np. parki wodne, ale również obiekty o przeznaczeniu typowo rolniczym i przemysłowym – szklarnie, suszarnie produktów rolnych, suszarnie drewna, baseny do hodowli ryb itp. Tworzenie rozbudowanych sieci o zróżnicowanych temperaturowo odbiorcach ciepła sprzyja większej efektywności pracy ciepłowni i bardziej efektywnemu wykorzystaniu energii wód geotermalnych.

Przedstawiona w pracy analiza i wynikające z nie wnioski wykazują, że zastosowanie energii geotermalnej do wspomaganie pracy elektrociepłowni jest rozwiązaniem technicznie realnym. Koncepcja jest o tyle interesująca, że możliwość połączenia części geotermalnej z częścią konwencjonalną źródła ciepła powinna być brana pod uwagę przy opracowywaniu programów modernizacji każdej elektrociepłowni.

W niektórych przypadkach interesująca i technicznie realna wydaje się być koncepcja bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej w elektrowniach binarnych.

Istniejące prognozy przewidują, że dynamiczny rozwój ciepłowni geotermalnych w Polsce powinien nastąpić w latach 2020-2050 (Sokołowski, 1997), (Sokołowski, 2001)

BIBLIOGRAFIA

- Balcer M. (2001), *Geotermia w Mszczonowie – rozwiązanie na miarę XXI wieku*, Czysta energia, 3(2001).
- Bonca Z., Butrymowicz D., Dambek D., Depta A., Targański, W. (1998), *Handbook: Refrigeration fluids and heat carriers*, IPPU Masta.
- Chodkiewicz R., Hanusek P., Porochnicki J. (2001), *Acquisition of electricity from geothermal resources*, Ciepłne Maszyny Przepływowe, 120(2001).
- Gawlik K., Hassani V. (1998), *Advanced binary cycles: Optimum working fluids*, Geothermal Resources Council, Annual Meeting 1998, California, USA.
- Górecki W. (1996), *Atlas zasobów energii geotermalnej na Niżu Polskim*, Wyd. GEOS, Kraków.
- Kabat M., Nowak W., Sobański R. (1999), *Zasady wykorzystania energii wód geotermalnych do celów ogrzewczych budynków*. Projekt KBN Nr 7T07G-010-10 (materiały nie publikowane), Szczecin.
- Lound J.W. (2000), *Sposoby bezpośredniego wykorzystania energii geotermalnej*, Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia, 4(2000), PAN IGSMiE, Kraków.
- Nowak W., Borsukiewicz-Gozdur A. (2003), *Analysis and assessment of the effectiveness of operation of binary power plant utilising geothermal water with a medium enthalpy*, Transaction of IFFM, 114 (2003).
- Nowak W., Sobański R., Kabat M., Kujawa T. (2000), *Systemy pozyskiwania i wykorzystania energii geotermicznej*, Wyd. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin.
- Nowak W., Stachel A. (1999), *Influence of parameters of geothermal water on utilisation of the water in small heating systems*, Acta Mechanica Slovaca, 3(1999), 187-192.
- Nowak W., Stachel A. (2000), *Analysis of the floor-heating influence on the degree of geothermal-energy use in the central heat source*, Acta Mechanica Slovaca, 3(2000), 417-422.
- Nowak W., Stachel A. (2001) *Modelling of thermal-hydraulic processes of geothermal energy extraction and utilisation*. Transactions of IFFM, 109 (2001), 45-57.
- Nowak W., Stachel A. (2004), *Stan i perspektywy wykorzystania niektórych odnawialnych źródeł energii w Polsce*, Wyd. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin.
- Shulman G. (1995), *Low temperature flashed steam power generation*, Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence 1995.
- Sobański R., Kabat M., Nowak W. (2000), *Jak pozyskać ciepło z Ziemi*, COIB, Warszawa.

Sokołowski J. (1997), *Metodyka oceny zasobów geotermalnych i warunki ich występowania w Polsce*, Mat. Polskiej Szkoły Geotermalnej, III Kurs, Wyd. PGA i CPPGSMiE PAN, Kraków-Stęszew.
Sokołowski J. (2001), *Zarys programu działań w zakresie energii geotermalnej*, Instal 10 (2001), 54-57.

UTILIZATION OF GEOTHERMAL ENERGY FOR HEATING PURPOSES AND ELECTRICITY PRODUCTION IN POLAND

Poland belongs to the countries having rich resources of geothermal waters with low or average enthalpy, and the geothermal energy is possible to be acquired on the entire region of the country, which can be further used primarily for heating purposes and into the smaller extent in production of electricity. Presently in Poland there are six thermal power stations in operation, which use that kind of energy, one is under construction and a few further are envisaged for realization in the short period of time. In the present paper presented have been selected information about it, together with information about acquisition and utilization of that energy for heating purposes as well as for electricity production.

Polska należy do krajów posiadających bogate zasoby wód geotermalnych o niskiej i średniej entalpii, a energia geotermalna jest możliwa do pozyskiwania na obszarze prawie całego kraju i może być wykorzystywana przede wszystkim do celów ogrzewczych, a w mniejszym stopniu do wytwarzania energii elektrycznej. Obecnie w Polsce eksploatowanych jest sześć ciepłowni wykorzystujących ten rodzaj energii, jedna ciepłownia jest w budowie, a kilka dalszych przewidzianych jest do realizacji w najbliższym czasie. Informacje na ten temat i na temat pozyskiwania oraz wykorzystania tej energii do celów ogrzewczych, a także do produkcji energii elektrycznej można znaleźć w tym artykule.