

Zastosowanie absorpcyjnych pomp ciepła w instalacjach geotermalnych

Marcin Malicki

W krajowych warunkach niejednokrotnie temperatura wody dostępna z odwiertu geotermalnego wymusza zastosowanie dodatkowych szczytowych źródeł ciepła. Ogranicza to średnioroczne wykorzystanie mocy ciepłowniczej dostępnej z odwiertu, a źródło często traci czysto proekologiczny charakter. Problemy te można rozwiązać rozbudowując źródło o absorpcyjną pompę ciepła. Jeden z wariantów takiej rozbudowy został przedstawiony w artykule.

Stacje geotermalne, które umożliwiają produkcję oraz dostawę wody gorącej do pokrycia zapotrzebowania na c.w.u. i ogrzewanie budynków za pomocą sieci ciepłowniczej, dziś są w centrum zainteresowania krajowych działań prośrodowiskowych. Niestety, stosunkowo niska temperatura ciepła dostępnego z odwiertów geotermalnych niejednokrotnie wymusza stosowanie dodatkowych źródeł szczytowych, ograniczając średnioroczne wykorzystanie mocy odwiertów i proekologiczne walory inwestycji. Wynika to ze specyfiki pracy miejskiej sieci ciepłowniczej – musi ona dostarczać do odbiorców wodę gorącą o odpowiednich parametrach odpowiadających temperaturze zewnętrznej. Gdy wraz ze spadkiem temperatury zewnętrznej zapotrzebowanie na ciepło rośnie, konieczne jest albo zwiększanie przepływu w sieci (co jest mało ekonomiczne), albo podnoszenie temperatury czynnika wysyłanego do odbiorców – to z kolei przyczynia się do wzrostu temperatury wody powracającej z sieci do źródła i w efekcie do zmniejszenia możliwości do wykorzystania mocy cieplnej źródła, dalej – do konieczności uruchomienia źródeł szczytowych, podwyższania temperatury wody powrotnej i intensyfikacji opisanej tendencji. Skutecznym antidotum na te problemy może być jednak modernizacja źródła geotermalnego przy wykorzystaniu absorpcyjnej pompy ciepła. Wariant modernizacji przedstawiony w artykule został wybrany z powodu niewielkiej inwazyjności oraz w pełni proekologicznej metody zwiększenia mocy ciepłowniczej

źródła geotermalnego. Pozwala on na oszczędności 27% energii wprowadzanej do systemu oraz na trzykrotne zwiększenie mocy źródła geotermalnego w okresie zimowym.

Absorpcyjne pompy ciepła

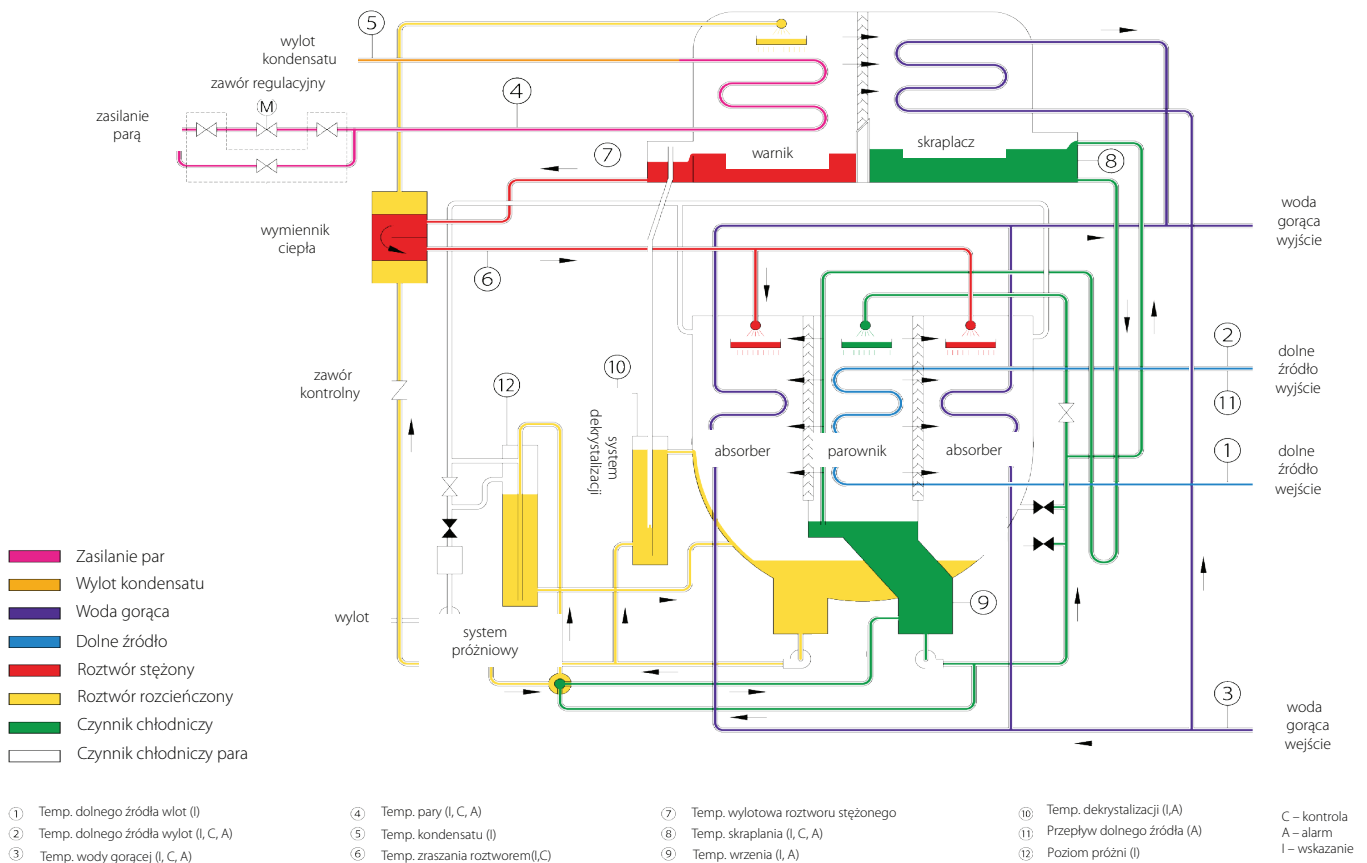
Absorpcyjna pompa ciepła w układzie geotermalnym będzie wykorzystywać ciepło w postaci nieużytecznej (jako tzw. dolne źródło) i zamieniać je na ciepło użyteczne. Jako energia zasilająca (i tzw. górne źródło) może być użyta para lub gorąca woda o temperaturze wyższej niż 100°C bądź dowolne paliwo, które zostanie spalone we wbudowanym w absorpcyjnej pompie ciepła palniku. W urządzeniach tego typu czynnikiem roboczym jest wodny roztwór bromku litu (LiBr), czyli nietoksyczna sól, a czynnikiem chłodniczym woda.

Cykl pracy pompy. Zasadę działania absorpcyjnej pompy ciepła przedstawia rysunek 1, a kolejne procesy przebiegają następująco:

- w generatorze, kosztem dostarczonego ciepła, np. w postaci pary czy gorącej wody, bądź przy wykorzystaniu bezpośrednio palnika zasilanego dowolnym paliwem, następuje odparowanie pary wodnej z rozcieńczonego roztworu bromku litu i wody. Odparowanie w generatorze jest możliwe dzięki ciśnieniu znacząco niższemu od atmosferycznego;
- odparowana czysta para wodna przechodzi do skraplacza i zostaje skroplona, oddając ciepło przez wymiennik przeponowy;

- uzyskana w ten sposób woda, stanowiąca czynnik chłodniczy, podawana jest poprzez układ dławiący do parownika, gdzie, odparowując w warunkach wysokiej próżni na ściankach wymiennika, odbiera ciepło nieużyteczne z dolnego źródła;
- powstała w parowniku para wodna jest następnie pochłaniana w absorberze przez stężony roztwór bromku litu, z którego wcześniej w generatorze odparowała woda, utrzymując w ten sposób wysoką próżnię w urządzeniu, a więc i niską temperaturę wrzenia w parowniku. Proces absorpcji jest silnie egzotermiczny, dlatego też wymagany jest odbiór znaczącej ilości ciepła, co stanowi dodatkowe źródło energii oraz pierwszy stopień podgrzewu wody wlotowej;
- stężony roztwór w efekcie pochłaniania pary ulega rozcieńczeniu i w tej postaci jest przetłaczany przez pompę roztworu z powrotem do generatora. Tam woda z roztworu zostaje odparowana, stężony roztwór zostaje przepompowany do absorbera i cykl powtarza się.

! Do prawidłowego działania absorpcyjnej pompy ciepła potrzebne jest przede wszystkim dostarczenie jej ciepła w dwóch postaciach: pary, gorącej wody bądź spalania dowolnego paliwa we wbudowanym palniku oraz ciepła niskotemperaturowego dla parowacza. Należy także zapewnić zasilanie elektryczne systemu automatyki i pomp obiegowych o mocy około 0,1% mocy cieplnej urządzenia.



1. Schemat bromolitowej absorpcyjnej pompy ciepła na przykładzie urządzenia SL Eco Energy Systems

Stosunek nakładów do korzyści. Ponieważ zadaniem pomp ciepła jako takich jest odzyskiwanie znaczącej ilości ciepła niskoparametrowego, to główną korzyścią z zastosowania absorpcyjnych pomp ciepła jest istotne zwiększenie sprawności wytwarzania ciepła w każdym systemie, w którym są one zainstalowane i mogą odzyskiwać ciepło nieużyteczne. Ponadto układy absorpcyjnych pomp ciepła umożliwiają znaczne zwiększenie mocy cieplowniczego układu przy wyraźnie mniejszym zużyciu paliwa w stosunku do systemu konwencjonalnego.

Na rysunku 2 został przedstawiony udział ciepła nieużytecznego (dolnego źródła) w całkowitej sprawności absorpcyjnej pompy ciepła (dane dotyczą warunków krajowych). Jak widać, urządzenie, poza 60% dostarczonej energii w postaci użytecznej, odzyskuje dodatkowo 40% energii z ciepła odpadowego, aby wyprodukować 100% energii, którą można wykorzystać na cele cieplownicze. Oznacza to także, że możliwa do uzyskania moc pompy ciepła jest wprost proporcjonalna do możliwej do uzyskania ilości energii zasilającej oraz przeznaczonej do odzyskania.

Przy wykorzystaniu absorpcyjnych pomp ciepła realnie jest uzyskiwanie temperatury wody gorącej dochodzącej do 95°C.

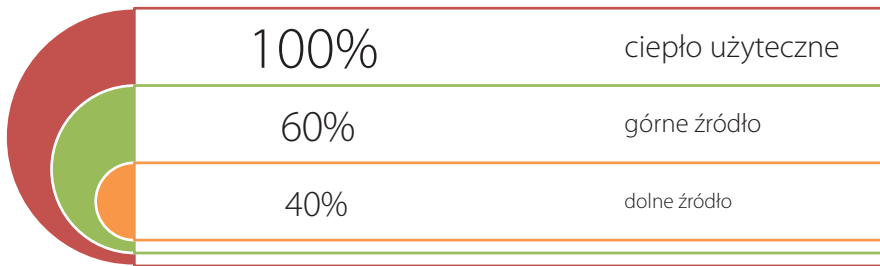
! Istotną zaletą stosowania absorpcyjnych pomp ciepła do wspomaganie układów geotermalnych w miejskiej sieci cieplowniczej są niskie – w porównaniu do sprężarkowych pomp ciepła – nakłady inwestycyjne. W przypadku absorpcyjnych pomp ciepła (wraz niezbędną infrastrukturą) 1 MW mocy cieplowniczego wymaga nakładów około 700 tys. zł, a dla pomp sprężarkowych aż 1,8 mln zł. Koszt kotłowni gazowej kształtuje się na poziomie około 300 tys. zł za 1 MW.

Zastosowanie absorpcyjnych pomp ciepła w geotermii ma też wiele dodatkowych zalet w stosunku do innych rozwiązań. Układy takich pomp produkowane są jako monobloki przeznaczone do montażu wewnątrz pomieszczeń, w których przez cały rok utrzymywana jest temperatura dodatnia (czynnikiem chłodniczym jest woda). Ze względu na konstrukcję pomp, jedynymi ograniczeniami w zakresie

mocy urządzeń są te związane z logistyką dostawy poszczególnych elementów. Na rynku dostępne są urządzenia o mocy cieplowniczego od do 38 MW dostarczane jako pojedyncze elementy, a dzięki możliwości łączenia ich w bloki, ograniczenie wielkościowe praktycznie nie występuje.

Miejska sieć cieplownicza z geotermią

Eksploracja źródeł geotermalnych na użytek miejskiej sieci cieplowniczej odbywa się najczęściej z wykorzystaniem pompy wody spuszczonej do odwiertu. Przy mniejszych wydajnościach odwierty mogą być eksploatowane na tzw. samowypływie, czyli bez udziału pompy. Zwykle, ze względu na jakość wody geotermalnej, która uniemożliwia jej bezpośrednie wykorzystanie w sieci cieplowniczej, układ wody geotermalnej jest oddzielony od układu cieplowniczego przeciwpływowym wymiennikiem ciepła. W wymienniku woda geotermalna oddaje ciepło wodzie sieciowej, a następnie jest zatłaczana do innego odwiertu



2. Składowe sprawności absorpcyjnej pompy ciepła

bądź odprowadzana do cieków wodnych (po obniżeniu jej temperatury zgodnie z uzyskanym pozwoleniem wodno-prawnym). Woda sieciowa przez pompownie trafia do miejskiej sieci ciepłowniczej i jest dostarczana bezpośrednio do odbiorców, gdzie jest wykorzystywana na cele grzewcze oraz do produkcji ciepłej wody użytkowej.

Temperatury robocze i ilość pozyskiwanej energii.

W związku ze stosunkowo niską temperaturą wody z odwiertów, miejska sieć ciepłownicza projektowana jest na niższą temperaturę zasilania oraz możliwie niską temperaturę powrotu (im niższa temperatura powrotu, tym można lepiej wykorzystać energię z odwiertu). Rzeczywista ilość energii możliwej do odzyskania w wymienniku geotermalnym jest uwarunkowana charakterystyką złoża geotermalnego i sieci ciepłej – zależy od objętościowego strumienia wydobywanej wody geotermalnej, jej temperatury oraz od stopnia schłodzenia w wymienniku. Przykładowe wartości temperatury roboczej wymiennika geotermalnego wraz z porównaniem ilości energii odzyskiwanej z odwiertu są przedstawione na rysunku 3 (dla warunków letnich) oraz na rysunku 4 (dla warunków zimowych). Jak wynika z rysunku 3 i 4, parametry pracy wymiennika dla okresu letniego i zimowego znacząco się różnią. W związku ze specyfiką pracy miejskiej sieci ciepłowniczej, dla okresu zimowego wymagana jest wyższa temperatura wody (np. 80/55°C), a dla letniego niższa (np. 65/35°C), co przy utrzymaniu przepływu wody z odwiertu na niezmiennym poziomie (100 t/h dla omawianego przykładu) oznacza różnicę w możliwej do wykorzystania mocy od 3,49 MW latem do 1,16 MW zimą. Dla warunków krajowych, w skrajnych przypadkach, zmniejszenie mocy pozyskiwanej zimą z odwiertu geotermalnego może być nawet ponad trzykrotne!

W związku z tym, że w warunkach krajowych zdecydowanie większa ilość ciepła potrzeb-

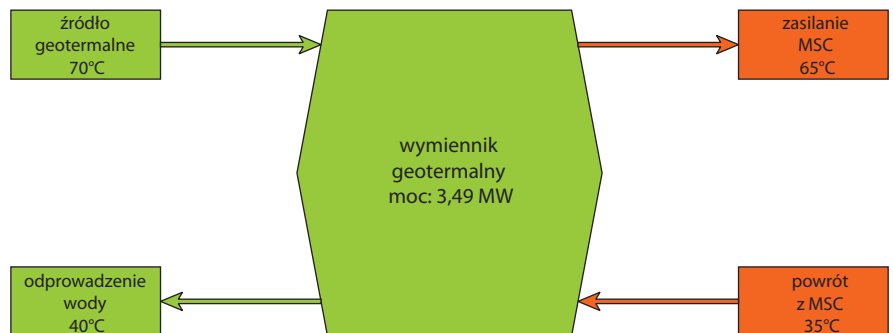
na jest odbiorcom zimą, a właśnie wtedy temperatura wody sieciowej za geotermalnymi wymiennikami ciepła może być niższa od wymaganych wartości, na zasilaniu stosuje się szeregowo układy podgrzewu wody (jak na rys. 4). W takim układzie woda powracająca z miejskiej sieci ciepłowniczej początkowo jest podgrzewana przez wymiennik geotermalny, zgodnie z aktualną dostępną mocą, a następnie przez źródło szczytowe regulujące temperaturę wody wysyłanej do odbiorców. Taki sposób eksploatacji źródła geotermalnego prowadzi jednak do zwiększania ilości energii ze źródła konwencjonalnego przy jednoczesnym zmniejszaniu ilości ciepła pochodzącego ze źródła

geotermalnego. Jednocześnie pojawiają się dodatkowe problemy związane ze zbyt wysoką temperaturą wody odprowadzanej do cieków wodnych bądź zatłaczanej do drugiego odwiertu. Dlatego też najkorzystniejszym wariantem, umożliwiającym maksymalizację wykorzystania ciepła z geotermii, jest zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła.

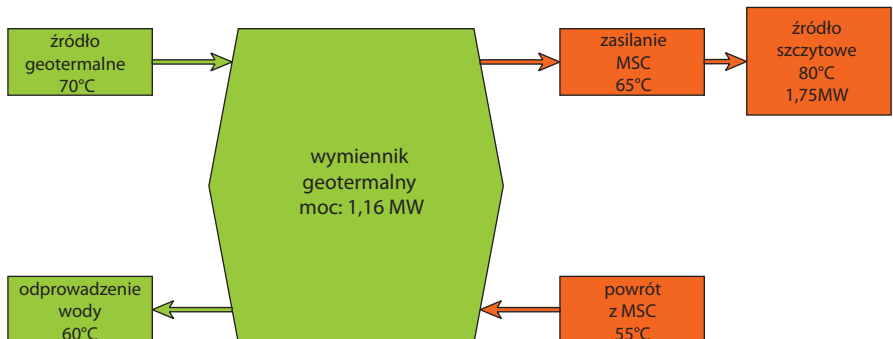
Absorpcyjna pompa ciepła jako źródło szczytowe

Poniżej przedstawiono jeden z wariantów zastosowania układu absorpcyjnych pomp ciepła jako źródła szczytowego dla systemu geotermalnego. Jest to modyfikacja układu standardowego, stosunkowo nieinwazyjna, umożliwiająca szybką implementację i rozbudowę mocy grzewczej. Analiza inwestycji, aby ułatwić porównanie, została przeprowadzona dla absorpcyjnych pomp ciepła z wbudowanymi palnikami gazowymi (istnieje możliwość montażu absorpcyjnych pomp ciepła zasilanych parą bądź wodą – w takim wypadku parametry analizy ulegną niewielkiej zmianie).

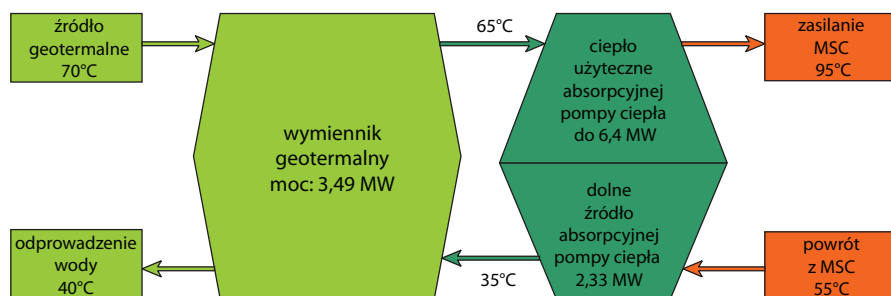
Jak już wspomniano, absorpcyjna pompa ciepła do prawidłowego działania wymaga dostar-



3. Przykładowe parametry pracy dla wymiennika geotermalnego latem



4. Przykładowe parametry pracy wymiennika geotermalnego i źródła szczytowego zimą



5. Przykładowy schemat włączenia absorpcyjnej pompy ciepła w układ geotermalny

czenia ciepła do tzw. dolnego źródła (ciepło o niskiej temperaturze) oraz do tzw. górnego źródła (ciepło o wysokiej temperaturze). W proponowanym wariantcie modernizacji dolne źródło ciepła będzie stanowiła woda gorąca powracająca z miejskiej sieci ciepłowniczej, a górne źródło wbudowany palnik gazowy (schemat włączenia układu absorpcyjnej pompy ciepła w źródło geotermalne przedstawia rys. 5). Taki sposób wykorzystania absorpcyjnej pompy ciepła w układzie geotermalnym niesie za sobą szereg zalet:

- jakość wody dla dolnego źródła nie wymaga zastosowania specjalnych materiałów, co bywa konieczne przy wykorzystaniu bezpośrednio wody geotermalnej za wymiennikiem;
- ilość energii odzyskanej przez absorpcyjną pompę ciepła jest wprost proporcjonalna do wzrostu mocy wymiennika geotermalnego – dzięki obniżeniu temperatury wody powracającej na wymiennik;
- temperatura wody powracającej z miejskiej sieci ciepłowniczej umożliwia osiągnię-

Zwiększenie zapotrzebowania na ciepło sieciowe latem

Zastosowanie absorpcyjnych pomp ciepła pozwala na zwiększenie mocy pozyskanej ze źródła geotermalnego, którą można wykorzystać nie tylko zimą, ale także latem. Dzięki stosunkowo niskiej temperaturze wylotowej z wymiennika geotermalnego, absorpcyjna pompa ciepła może dalej odzyskiwać ciepło z wody powracającej z sieci (przez dolne źródło) oraz podnosić temperaturę wody kierowanej do sieci (ciepło użyteczne).

W warunkach krajowych pojawia się jednak kwestia wykorzystania zwiększonej mocy ciepłowniczej. Jednym z rozwiązań, prowadzącym do zwiększenia wykorzystania ciepła z miejskiej sieci ciepłowniczej latem, jest modernizacja istniejących węzłów cieplnych na węzły ciepłownicze. Proponowane rozwiązanie zakłada modernizację istniejących węzłów cieplnych, dostarczających ciepło na potrzeby c.o. w ziemie oraz c.w.u. w ziemie i lecie, na węzły ciepłownicze dostarczające poza ciepłem także chłód na cele technologiczne lub klimatyzacyjne.

Przykładowy węzeł ciepłowniczy powinien znajdować się bezpośrednio u odbiorcy i być zasilany ciepłem z sieci ciepłowniczej. Jego wyposażenie, poza standardową infrastrukturą ciepłowniczą, obejmowałoby absorpcyjne bądź adsorpcyjne agregaty chłodnicze produkujące chłód na cele klimatyzacyjne lub technologiczne, przy wykorzystaniu ciepła z sieci jako energii zasilającej. Wybór rodzaju agregatu zależy głównie od dostępnej w okresie letnim temperatury ciepła sieciowego. Niemniej jednak oba rozwiązania charakteryzują się niewielkim obciążeniem środowiskowym zarówno w zakresie wykorzystanych materiałów, jak i cyklu życia produktu ocenianego na około 20 lat, a więc przeciętnie dwukrotnie dłużej od rozwiązań opartych na agregatach sprężarkowych.

Stworzone w ten sposób węzły ciepłownicze, w związku z proekologicznym charakterem źródła ciepła, stanowią ciekawą alternatywę dla rozwiązań konwencjonalnych, szczególnie jeśli weźmie się pod uwagę pogłębiające się deficyty energii elektrycznej w sezonie letnim.

cie przez absorpcyjną pompę ciepła szczytowych sprawności, dodatkowo obniżając zużycie paliwa.

Jak pokazały wyniki analizy, dzięki instalacji absorpcyjnej pompy ciepła, nawet w najbardziej niekorzystnym wariantcie eksploatacyjnym (zima) uzyskuje się ponad trzykrotne zwiększenie mocy wymiennika geotermalnego oraz znaczące zwiększenie mocy ciepłowniczej układu. System przed modernizacją dysponował mocą wymiennika ciepłowniczego dla warunków zimowych 1,16 MW. Po modernizacji, dzięki obniżeniu temperatury wody powracającej z sieci przed wymiennikiem, moc wzrosła do 3,49 MW. Odzyskana w ten sposób przez absorpcyjną pompę ciepła energia może zostać wykorzystana do podniesienia temperatury wody wylotowej na potrzeby miejskiej sieci ciepłowniczej nawet do 95°C (w związku z tym, że jest to maksymalna temperatura, która może być produkowana przez absorpcyjną pompę ciepła, należy zmniejszyć jej moc bądź zwiększyć przepływ w sieci). Dodatkowo, w rozwiązaniu konwencjonalnym, przed modernizacją, w celu zapewnienia z okresie zimowym dostawy ciepła dla odbiorców w ilości szczytowej 9,89 MW, ze źródła geotermalnego pochodziłyby 1,16 MW, a pozostałe 8,73 MW należałoby dostarczać ze źródła szczytowego. Po modyfikacji, ze źródła geotermalnego będzie pochodzić 3,49 MW, a z systemu absorpcyjnej pompy ciepła do 6,4 MW, co ograniczy ilość energii doprowadzanej z zewnątrz do układu o ponad 27% w stosunku do systemu konwencjonalnego oraz zwiększy udział energii ze źródła geotermalnego w okresie zimowym o ponad 300%!

Istnieje oczywiście wiele wariantów instalacji systemu absorpcyjnych pomp ciepła umożliwiających zwiększenie wykorzystania źródła geotermalnego bądź nawet eksploatację źródeł o zbyt niskiej dla potrzeb grzewczych temperaturze, jednak wariant, który przedstawiono, jest najbardziej popularny ze względu na prostotę implementacji oraz duże korzyści, jakie mogą być osiągnięte zaraz po zastosowaniu. ■

O AUTORZE

dr inż. Marcin Malicki, absolwent Politechniki Warszawskiej, dyrektor ds. technologii w New Energy Transfer S.A., kierownik naukowy projektów badawczo-rozwojowych, autor szeregu publikacji i współtwórca wynalazków. Koncentruje się na zagadnieniach dot. poprawy efektywności energetycznej układów skojarzonych z wykorzystaniem technologii sorpcyjnych.

