



Sorpcyjne układy chłodzenia

Cz. 4. Absorpcyjne pompy ciepła w układach ciepłowniczych i energetyce

Marcin MALICKI

W niniejszej, czwartej już, części cyklu dotyczącego technologii sorpcyjnej, przedstawiono zastosowanie urządzeń sorpcyjnych do produkcji ciepła na cele technologiczne bądź ciepłownicze przy jednoczesnym odzysku ciepła o bardzo niskiej temperaturze. Zaprezentowano zasadę działania takich układów oraz określono korzystne w skali kraju obszary implementacji technologii wraz z przykładami.

Jednym z rozwiązań o bardzo wysokim potencjale implementacyjnym w Polsce jest wykorzystywanie ciepła geotermalnego do celów ciepłowniczych, energetycznych, chłodniczych czy technologicznych

Produkcja chłodu w sposób efektywny i ekonomiczny, przy wykorzystaniu ciepła odpadowego bądź nieużytecznego, które może pochodzić ze źródeł odnawialnych bądź z odzysku ciepła, doprowadziła w ciągu ostatnich 5 lat do wzmożonego rozwoju zastosowania chłodziarek sorpcyjnych w kraju. W pierwszej części cyklu przedstawiającego technologię sorpcyjną pod tytułem „Praktyczne zastosowania agregatów sorpcyjnych” w numerze Ch&K 5/2018, zaprezentowano możliwe scenariusze implementacji chłodziarki absorpcyjnej oraz adsorpcyjnej do zastosowań przemysłowych i klimatyzacyjnych. W kolejnej części zatytułowanej „Ekonomika zastosowania agregatów absorpcyjnych zasilanych różnymi źródłami ciepła” przedstawiono uwarunkowania ekonomiczne eksploatacji układów absorpcyjnych zasilanych różnymi źródłami ciepła, przy różnych cenach energii zasilającej oraz porównano koszt wytworzenia chłodu

z rozwiązaniem konwencjonalnym. Nakreślono także uwarunkowania kierujące inwestorów w stronę rozpoczęcia budowy konkretnego typu źródła sorpcyjnego. W trzeciej części cyklu w numerze Ch&K 7/2018 p.t. „Zastosowanie agregatów adsorpcyjnych ze złożem klejonym” skupiono się na możliwości zastosowania agregatów adsorpcyjnych o innowacyjnej, klejonej, konstrukcji złoża, do produkcji wody lodowej do celów klimatyzacyjnych bądź procesowych oraz możliwości implementacji takich agregatów do hybrydowych źródeł chłodniczych składających się z różnych konfiguracji urządzeń sprężarkowych i sorpcyjnych.

Urządzenia sorpcyjne to nie tylko możliwość produkcji chłodu, ale także ciepła. Poniżej został omówiony temat produkcji ciepła na cele technologiczne bądź ciepłownicze przy pomocy absorpcyjnej pompy ciepła i jednoczesnym odzysku ciepła o bardzo niskiej temperaturze.

Potencjał zastosowania

Wykorzystanie konwencjonalnych zasobów energii pierwotnej do produkcji energii elektrycznej i ciepła negatywnie wpływa na środowisko. Jednym z możliwych rozwiązań problemu zapewnienia komfortu cieplnego latem i zimą jest produkcja energii ze źródeł odnawialnych. Niestety technologie wykorzystujące wiatr czy słońce zmagają się z problemami eksploatacyjnymi związanymi z zaspokajaniem zapotrzebowania na energię w momencie jego powstawania, niezależnie od dostępności zasobów odnawialnych. Jednym z rozwiązań o bardzo wysokim potencjale implementacyjnym w Polsce jest wykorzystywanie

ciepła geotermalnego do celów ciepłowniczych, energetycznych, chłodniczych czy technologicznych.

Światowy potencjał geotermalny odpowiada ponad 30 mld ton węgla kamiennego rocznie i może być wykorzystany w ponad 60 krajach na świecie. Polska ma bardzo dobre warunki do wykorzystania energii Ziemi, ponieważ na powierzchni ponad 80% kraju, na głębokości od 1 do 10 km, występują złoża wody o temperaturze od 25°C do 125°C. Na wielu obszarach woda o stosunkowo niewielkiej mineralizacji umożliwia dalsze jej wykorzystanie do celów leczniczych, technologicznych czy nawet pitnych. Na chwilę obecną w Polsce oplacalne jest wydobycie wody na połowie obszaru występowania energii geotermalnej, ponieważ na stosunkowo niewielkiej głębokości dostępne są zasoby o niskiej mineralizacji i wysokiej temperaturze.

Wykorzystanie układów pomp ciepła, umożliwiających zagospodarowanie odnawialnego źródła geotermalnego o stosunkowo niskiej temperaturze, do produkcji wody grzewczej o parametrach wystarczających do zasilania sieci ciepłowniczej bądź urządzeń produkujących chłód znacząco rozszerzyłoby obszar możliwości efektywnego zagospodarowania ciepła Ziemi.

Aktualnie w Europie eksploatowanych jest prawie 300 ciepłowniczych systemów geotermalnych o łącznej mocy około 5 GW. W naszym kraju działa sześć obiektów, a w najbliższym czasie liczba ta ma zwiększyć się o kolejne siedem dzięki dofinansowaniu przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej odwiertów badawczych. Dla porównania – jeden tylko chiński producent układów absorpcyjnych pomp ciepła eksploatuje obecnie 340 instalacji ciepłowniczych o sumarycznej mocy przekraczającej 9,3 GW.

Nie tylko ciepło Ziemi może stanowić źródło energii możliwej do efektywnego wykorzystania. W ciągu ostatnich lat ogromne korzyści przyniosły działania, mające na celu poprawę efektywności energetycznej, głównie w przemyśle. Niestety zauważalny jest spadek tempa poprawy tej efektywności, co pokazuje, że proste modyfikacje, oparte głównie na bezpośrednim odzysku ciepła, zostały już zrealizowane, pozostawiając miejsce dla bardziej zaawansowanych, uwzględniających nie tylko odzyskiwanie, ale także przetwarzanie energii. Bardzo istotnym obszarem są tutaj źródła ciepła niskotemperaturowego, traktowane jako ciepło nieużyteczne bądź odpadowe. Potencjał tego źródła jest szczególnie istotny, jeśli się weźmie pod uwagę prawie 45-procentowy udział przemysłu w emisji CO₂ do atmosfery. Większość zużywanej energii pierwotnej wykorzystywana jest przez zakłady przemysłowe do produkcji energii elektrycznej i ciepła, z którego prawie 17% jest traktowane jako ciepło odpadowe i odprowadzane bezpośrednio do atmosfery. Implementacja technologii konwersji ciepła nieużytecznego i odpadowego na ciepło użyteczne może prowadzić do ograniczenia emisji CO₂ do atmosfery o 7÷12% w skali światowej.

Absorpcyjne pompy ciepła na tle rynku

Na rynku dostępnych jest wiele technologii odzyskiwania i konwersji ciepła nieużytecznego. Wśród najbardziej rozpowszechnionych możemy wyróżnić systemy pomp ciepła typu sprężarkowego bądź absorpcyjnego. Sama pompa ciepła jest urządzeniem umożliwiającym odzysk ciepła o niższej temperaturze oraz jego transfer do temperatury wyższej: użytecznej do celów przygotowania ciepłej wody użytkowej, grzewczych bądź technologicznych. Tak jak w wypadku urządzeń chłodniczych, również

w systemie konwencjonalnym do tego celu wykorzystywana jest sprężarka zasilana energią elektryczną. Rozwiązaniem najpopularniejszym na rynku instalacji małych i średnich są sprężarkowe pompy ciepła (SPC). Absorpcyjna pompa ciepła (APC) zapewnia taki sam efekt, jak rozwiązanie oparte na sprężarce zasilanej energią elektryczną, z tą różnicą, że energią zasilającą sprężarkę pompy ciepła nie jest energia mechaniczna, a energia termiczna (np. wbudowany palnik).

Rynek zastosowań dużych i bardzo dużych pomp (o skali od 1 MW do 180 MW na jedno urządzenie) jest zdominowany przez układy APC. Widać wyraźnie, że dzięki możliwości odzysku ciepła o temperaturze niższej, oraz efektywnej jego konwersji na ciepło o temperaturze wyższej, APC odgrywają bardzo istotną rolę w procesach poprawy efektywności energetycznej i ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery.

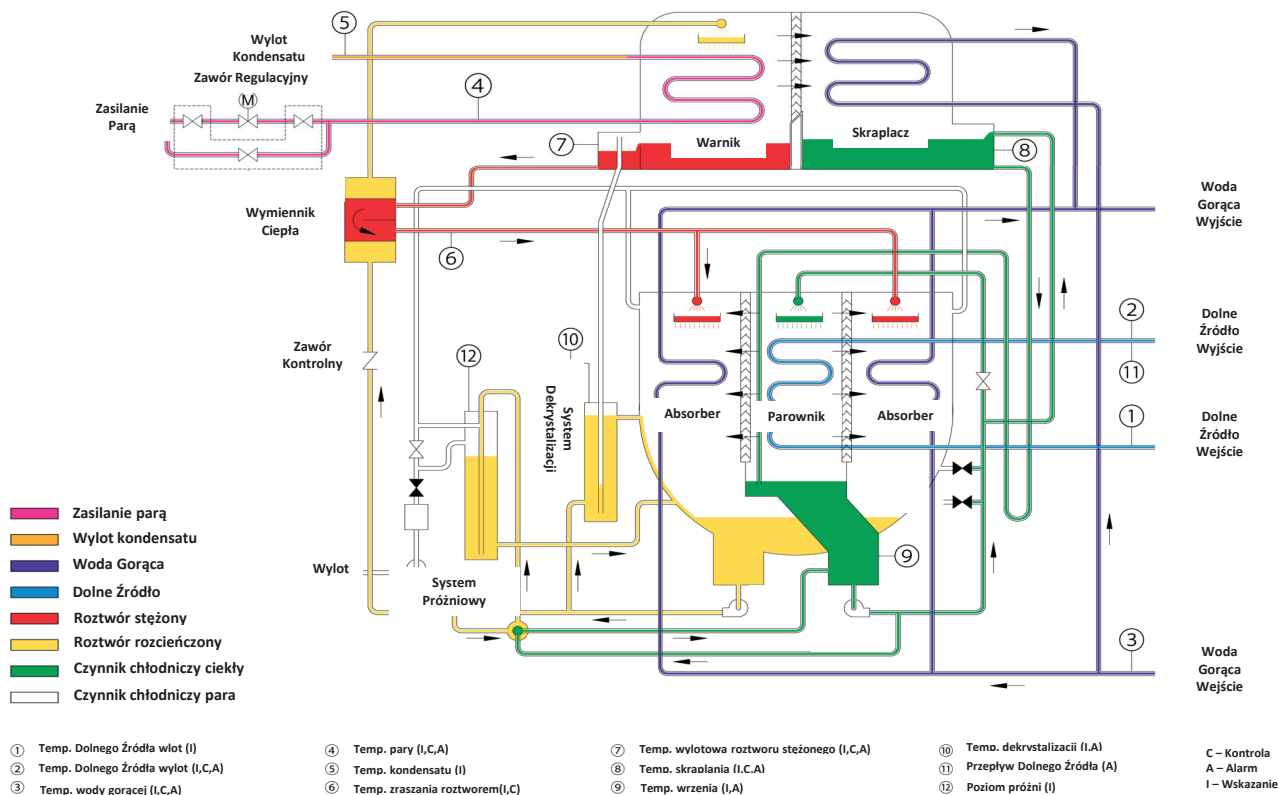
Poza odzyskiem ciepła nieużytecznego bądź odpadowego zapewniają wystarczającą temperaturę ciepła użytecznego przy wykorzystaniu w pełni ekologicznego czynnika chłodniczego (ODP i GWP = 0), jakim jest woda. Również parametry pracy układów absorpcyjnych stawiają je aktualnie w centrum rozważań, dotyczących optymalnej metody odzysku ciepła niskoparametrowego i zamianie go na ciepło użyteczne nie tylko w układach technologicznych, ale przede wszystkim w zagospodarowaniu odnawialnego niskoparametrowego ciepła Ziemi. Dodatkowo APC umożliwiają zagospodarowanie praktycznie całego zakresu temperaturowego ciepła nieużytecznego występującego w przemyśle oraz na obszarze, gdzie temperatura wód geotermalnych uniemożliwia ich bezpośrednie wykorzystanie do celów grzewczych. Sprężarkowe pompy ciepła mogą odzyskiwać niższe temperatury ciepła nieużytecznego, produkując jednocześnie ciepło użyteczne o niższej temperaturze. APC umożliwiają także podniesienie temperatury ciepła użytecznego nawet o 50°C. Tak duży wzrost temperatury, praktycznie nieosiągalny dla pomp sprężarkowych, definiuje przewagę rozwiązania absorpcyjnego w zastosowaniach ciepłowniczych. Poza zaletami technicznymi, zastosowanie APC wiąże się także z mniejszymi nakładami inwestycyjnymi, szczególnie przy dużych mocach dostosowanych do systemów ciepłowniczych.

Zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła w stosunku do sprężarkowej wiąże się z mniejszymi nakładami inwestycyjnymi, szczególnie przy dużych mocach dostosowanych do systemów ciepłowniczych

Zasada działania APC

Ideą działania absorpcyjnej pompy ciepła jest wykorzystanie ciepła w postaci nieużytecznej (dolne źródło) i przy pomocy spalania dowolnego paliwa we wbudowanym palniku, pary, bądź gorącej wody o temperaturze wyższej niż 100°C (górne źródło), używanej jako energia zasilająca, zamianie go na ciepło użyteczne. W układzie urządzenia czynnikiem roboczym jest najczęściej wodny roztwór bromku litu (LiBr) – nietoksyczna sól, a czynnikiem chłodniczym – woda. Zasadę działania obiegu przedstawiono na rysunku 1.

Implementacja technologii konwersji ciepła nieużytecznego i odpadowego na ciepło użyteczne może prowadzić do ograniczenia emisji CO₂ do atmosfery o 7÷12% w skali światowej



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

W generatorze, kosztem dostarczonego ciepła, następuje odparowanie pary wodnej z rozcieńczonego roztworu bromku litu i wody (LiBr/H₂O). 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 roboczy, 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, pochłaniając parę rozcieńcza się, a następnie przetłaczany jest przez pompę roztworu z powrotem do generatora, gdzie woda z roztworu zostaje odparowana, a dalej stężony roztwór zostaje przepompowany do absorbera i cykl powtarza się.

Do prawidłowego działania APC należy dostarczyć przede wszystkim ciepło w dwóch postaciach – wysokotemperaturowej dla generatora i niskotemperaturowej dla parownika. Należy także zapewnić zasilanie elektryczne systemu automatyki i pomp obiegowych o mocy około 0,1% mocy cieplnej urządzenia.

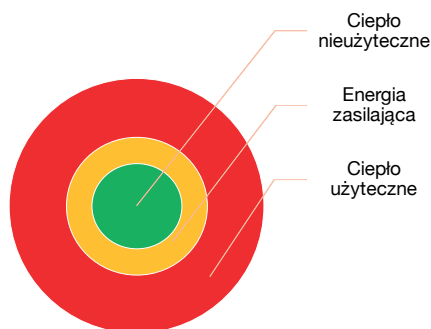
Parametry dostępne na rynku APC

Tak jak każde urządzenie techniczne także dostępne na rynku APC charakteryzują się pewnym zakresem akceptowalnych pa-

rametrów roboczych. Poniżej zaprezentowano parametry pracy z podziałem na poszczególne obiegi:

- ciepło zasilające (górne źródło):
 - dowolne paliwo, które może zostać spalane we wbudowanym palniku (gaz ziemny, olej opałowy itp.);
 - para wodna nasycona o temperaturze 100÷185°C;
 - gorąca woda o temperaturze w zakresie 100÷185°C;
 - spaliny ze spalania dowolnego paliwa pod warunkiem dostępności temperatury wyższej od 400°C;
- ciepło odzyskiwane (dolne źródło):
 - woda o temperaturze nie niższej niż 20°C;
 - para o temperaturze nie niższej niż 20°C;
- ciepło użyteczne (produkowane):
 - woda o temperaturze wylotowej do 95°C;
- energia elektryczna (pomocnicza):
 - zasilanie układu sterowania, pomp i zaworów – ok. 0,1% mocy cieplnej.

Kluczowe parametry, mające wpływ na fizyczną wielkość układu APC, to średnia temperatura dolnego źródła oraz wymagana temperatura ciepła użytecznego. W celu zminimalizowania wymiarów urządzenia, a co za tym idzie nakładów inwestycyjnych, zaleca się zapewnienie parametrów pracy układu APC gwarantujących różnicę temperatur pomiędzy wylotem z dolnego źródła (temperaturą wylotową po odzyskaniu ciepła) a powrotem wody gorącej (wlot ciepła użytecznego „do podgrzania”) na poziomie nieprzekraczającym 35°C. W związ-



Rys. 2. Składowe sprawności absorpcyjnej pompy ciepła

ku z tym, że na wielkość oraz sprawność układu wpływ ma nawet dziewięć parametrów (dla obiegu dolnego i górnego źródła oraz ciepła użytecznego: temperatura zasilania, powrotu oraz przepływu), prawidłowy dobór układu APC każdorazowo wymaga starannej i indywidualnej analizy. Sama eksploatacja układu nie wiąże się z dużą czasochłonnością m.in. dzięki bardzo szerokiej regulacji mocy. Na przykład moc ciepłownicza może być regulowana w zakresie 20–100% mocy nominalnej, przy możliwości zmiany przepływu od 60 do 120% przepływu nominalnego oraz dzięki faktycznemu brakowi elementów ruchomych. Determinuje to także bardzo wysoka dyspozycyjność urządzeń, na poziomie przekraczającym 8500 godzin oraz żywotność instalacji przekraczającą 25 lat.

Ponieważ podstawowe zadanie pomp ciepła polega na odzyskaniu ciepła niskoparametrowego, główną korzyścią z zastosowania APC jest znaczące zwiększenie sprawności wytwarzania energii cieplnej w systemie wytwórczym, w porównaniu z systemem konwencjonalnym opartym na wymienniku. Jest to możliwe dzięki odzyskaniu ciepła, które uległoby rozproszeniu w atmosferze bądź musiałoby zostać zawrócone do źródła geotermalnego. Poza znaczącą poprawą sprawności wytwarzania, układy APC umożliwiają istotne zwiększenie mocy ciepłowniczego układu geotermalnego bądź konwencjonalnego przy zachowaniu takiego samego jak przed modernizacją zużycia paliwa. Rysunek 2. przedstawia udział ciepła nieużytecznego (dolnego źródła) i ciepła użytecznego (górnego źródła) w całkowitej sprawności APC.

Urządzenie, poza jedną jednostką dostarczonej energii w postaci użytecznej (energia zasilająca), odzyskuje 0,8 jednostki energii z ciepła odpadowego (ciepło nieużyteczne), aby wyprodukować 1,8 jednostki ciepła użytecznego możliwego do wykorzystania na cele grzewcze bądź technologiczne. Podane dane dotyczą warunków krajowych. Oznacza to także, że możliwa do uzyskania moc pompy ciepła jest wprost proporcjonalna do możliwej do uzyskania ilości energii zasilającej oraz przeznaczanej do odzyskania.

Układy APC produkowane są jako monobloki do montażu wewnątrz pomieszczeń, w których przez cały rok utrzymywana jest temperatura dodatnia (czynnikiem chłodniczym jest woda). Ze względu na konstrukcję jedynymi ograniczeniami układu w zakresie mocy urządzeń są te związane z logistyką dostawy poszczególnych elementów. Na rynku dostępne są urządzenia o mocy ciepłowniczego od 1 do 180 MW, dostarczane jako pojedyncze elementy. Dzięki możliwości łączenia urządzeń w bloki ograniczenie mocy praktycznie nie występuje.

Możliwe krajowe zastosowania APC

Zarówno duże moce (od 1 MW do 180 MW) jak i wymaganie zasilania w ciepło pochodzące ze spalania dowolnego paliwa we wbudowanym palniku pary bądź wody o wysokich parametrach, a także wprost proporcjonalne do mocy ilości odzyskiwanego ciepła, definiują możliwe zastosowania układów APC w ciepłownictwie (także geotermalnym) oraz w energetyce. Poniżej zaprezentowano przykładowe możliwości implementacji układów APC w warunkach polskich.

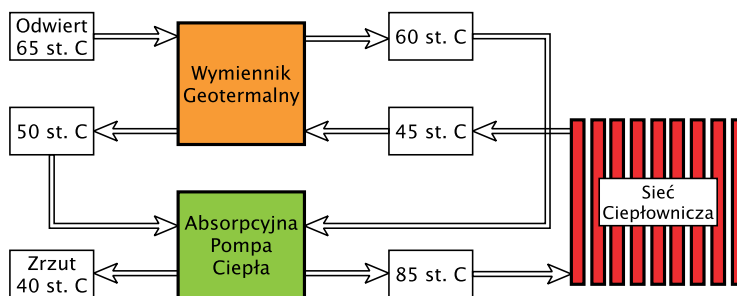
Ciepłownictwo geotermalne

APC znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie:

- pojawia się potrzeba maksymalizacji wykorzystania dostępnej energii pozyskiwanej z odwiertu geotermalnego;
- obniżenia temperatury wody odprowadzanej do wód powierzchniowych bądź zatłaczanych do warstwy wodonośnej;
- produkcji ciepła o parametrach ciepłowniczych z wykorzystaniem źródła geotermalnego o temperaturze zbyt niskiej do bezpośredniego zastosowania.

Dla krajowych warunków klimatycznych przy uwzględnieniu parametrów eksploatacyjnych sieci ciepłowniczych, w większości przypadków zarówno temperatura wody zasilającej, jak i powracającej z sieci, nie jest optymalna dla źródeł geotermalnych. W okresie zimowym temperatura wody powracającej z sieci ciepłowniczego jest wyższa od optymalnej temperatury wody zatłaczanej do złoża geotermalnego. Prowadzi to z jednej strony do niewykorzystywania pełnego potencjału odwiertu, a z drugiej – do eksploataowania sieci ciepłowniczego z temperaturami niższymi od nominalnych. Układy APC pomagają rozwiązywać ten problem dzięki możliwości wykorzystania wody kierowanej do wód powierzchniowych bądź planowanych do ponownego zatłaczania do warstwy geotermalnej jako dolnego źródła, a więc obniżeniu jej temperatury oraz podniesieniu temperatury wody gorącej kierowanej do sieci znacząco powyżej możliwości wymiennika geotermalnego. Na rysunku 3. zaprezentowano przykładowy schemat rozwiązania.

W rozwiązaniu tym układ przed modernizacją składał się z odwiertu, będącego źródłem ciepła o temperaturze 65°C, wymiennika geotermalnego oraz sieci ciepłowniczego, stanowiącej odbiornik ciepła. W związku z występującymi w naszym kraju niskimi temperaturami zewnętrznymi, tego rodzaju rozwiązanie powinno być wyposażone w dodatkowe źródło szczytowe, dostosowujące temperaturę wody kierowanej do sieci ciepłowniczego do zmiennego zapotrzebowania na moc, poprzez podnoszenie temperatury wylotowej. Niesie to niestety za sobą zna-



Rys. 3. Przykładowe zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła w ciepłowni geotermalnej

Dzięki zasilaniu urządzenia zarówno ciepłem wysokoparametrowym (para), jak i niskoparametrowym (woda chłodząca skraplacz) uzyskujemy ciepło średnioparametrowe, mogące być wykorzystywane w sezonie letnim bezpośrednio na potrzeby sieci ciepłowniczej, a w zimowym – jako pierwszy stopień podgrzewania wody, bądź na dowolne cele technologiczne



Rys. 4. Absorpcyjna pompa ciepła SL Eco Energy Systems o mocy 5 MW w wbudowanym palniku gazowym zabudowana w ciepłowni geotermalnej

czące ryzyko wzrostu temperatury wody powracającej z sieci ciepłowniczej podczas wyjątkowo zimnych dni, a więc także – ograniczenia ilości energii pozyskiwanej ze źródła geotermalnego ze względu na niższą roboczą różnicę temperatur wymiennika geotermalnego. W takim wypadku istnieje także ryzyko wzrostu temperatury wody odprowadzanej do wód powierzchniowych bądź przewidzianych do ponownego zatłaczania, co znacząco obniża moc odzyskiwaną ze źródła odnawialnego.

Modernizacja układu z użyciem APC umożliwia odzyskiwanie ciepła z wody za wymiennikiem geotermalnym (dotąd kierowanej do wód powierzchniowych bądź do ponownego zatłaczania) oraz podniesienie temperatury wody kierowanej do sieci ciepłowniczej. W omawianym przypadku odzyskanie 10°C w układzie odzysku (dolne źródło) oznacza, że temperatura wo-

dy kierowanej do sieci ciepłowniczej zostaje podniesiona o 25°C (przy przyjęciu takiej samej wartości przepływu). Umożliwia to odzysk dodatkowych 66% ciepła z odwiertu, a tym samym produkcję dodatkowych 166% ciepła użytecznego do wykorzystania na potrzeby odbiorców.

APC do prawidłowego działania potrzebuje ciepła wysokoparametrowego, które może pochodzić z palnika gazowego bądź kotła opalanego biomasą, w celu zachowania proekologicznego, niskoemisyjnego charakteru źródła ciepła, jakim jest instalacja geotermalna. W związku z tym, że sprawność APC jest znacząco wyższa od 100% (dla geotermalnych warunków krajowych ok. 167%), efektem modernizacji jest nie tylko znaczące zwiększenie mocy użytecznej, ale także poprawa sprawności wytwarzania energii przy zachowaniu w pełni proekologicznego charakteru tego źródła. Sama lokalizacja absorpcyjnej pompy ciepła, rozumiana jako miejsce odzysku ciepła oraz rodzaj jej zasilania, jest kwestią projektową, zależną od rozwiązań zastosowanych w istniejącym systemie. Na rysunku 4 zaprezentowano zdjęcie układu geotermalnego wyposażonego w APC o mocy 5 MW.

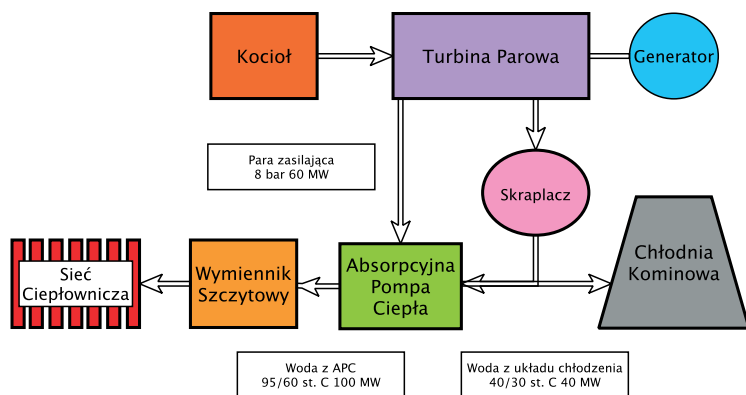
Energetyka

Absorpcyjne pompy ciepła znajdują zastosowania wszędzie tam, gdzie pojawia się potrzeba:

- najefektywniejszej rozbudowy bloku parowego bądź gazowo-parowego o układ ciepłowniczy;
- poprawy sprawności wytwarzania energii elektrycznej przez układ parowy bądź gazowo-parowy.

Produkcja wody gorącej o temperaturze nieprzekraczającej 95°C, przy jednoczesnym odzysku ciepła niskoparametrowego np. z systemów chłodzenia i mocy eksploatacyjnej układu od 1 do 360 MW, wpływa na powszechność zastosowania układów APC w systemach energetycznych na całym świecie. Na rysunku 5. zaprezentowano przykładowe zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła w procesie technologicznym elektrociepłowni.

APC wykorzystuje ciepło nieużyteczne, odpadowe (dolne źródło), które w wielu instalacjach odprowadzane jest do atmosfery przez chłodnie kominowe. Źródłem zasilania układu (górne źródło) jest para wodna wykorzystana wcześniej w systemie produkcji energii elektrycznej elektrociepłowni (np. upust z turbiny). APC dzięki energii doprowadzonej w postaci pary wodnej, powiększonej o energię odzyskaną z ciepła nieużytecznego, podnosi temperaturę wody w obiegu ciepła użytecznego: sieci ciepłowniczej. Dzięki zasilaniu urządzenia zarówno ciepłem wysokoparametrowym (para), jak i niskoparametrowym (woda chłodząca skraplacz) uzyskujemy ciepło średnioparametrowe, mogące być wykorzystywane w sezonie letnim bezpośrednio na potrzeby sieci ciepłowniczej, a w zimowym – jako pierwszy stopień podgrzewania wody, bądź na dowolne cele technologiczne, przy zachowaniu sprawności na poziomie zbliżonym do COP = 1,67 (dla warunków krajowych). Istotny jest w tym rozwiązaniu fakt stałej wartości COP (Coefficient of Performance – będący stosunkiem uzyskanego użytecznego efektu grzewczego do zasilającej energii użytecznej) mimo zmiany parametrów roboczych w ciągu roku. Moc układu APC ograniczona jest tylko przez dostępną ilość i jakość ciepła nieużytecznego (dolnego źródła), oraz dostępną ilość ciepła zasilającego (górnego źródła). Należy zaznaczyć, że w wypadku takiego zlokalizowania pompy ciepła w systemie technologicznym elektrociepłowni, poza odzyskaniem znaczących ilości energii jak dotąd bezpowrotnie traconej, istotnie zmniejsza się pracę urządzeń pomocni-



Rys. 5. Przykładowe zastosowanie absorpcyjnej pompy (APC) ciepła w elektrociepłowni – odzysk ciepła skraplania pary ze skraplacza

czych systemu chłodzenia (np. pomp) oraz odparowania wody w chłodniach chłodni kominowych, uzyskując dodatkowe korzyści zarówno w zakresie ekologicznym, jak i ekonomicznym.

Dodatkowo zastosowanie układu APC, w stosunku do układu konwencjonalnego opartego na wymiennikach, prowadzi do znaczącego wzrostu sprawności produkcji energii elektrycznej. Dzięki ograniczeniu zużycia pary z upustu turbiny na cele ciepłownicze, które może sięgać nawet 50%, większa ilość pary może zostać wykorzystana do produkcji energii elektrycznej. Na podstawie wykonanych dla warunków krajowych (zarówno w zakresie temperatury zewnętrznej, jak i wykorzystywanych układów wytwórczych) obliczeń można spodziewać się wzrostu sprawności wytwarzania energii o około 1-1,5%. Wartości te mogą zdawać się niewielkie, jednak w przeliczeniu na energię produkowaną przez średniej wielkości blok energetyczny o nominalnej mocy elektrycznej 250 MW oznaczają, przy zachowaniu produkcji ciepła na niezmiennym poziomie, dodatkowe 27 000 MWh energii elektrycznej rocznie.

Układy APC stosowane w krajowych warunkach posiadają także opisane wcześniej ograniczenia związane z dostępnymi temperaturami odzyskiwanego ciepła nieużytecznego bądź odpadowego (dolnego źródła), wymaganymi temperaturami ciepła użytkowego oraz pary zasilającej (górne źródło). W związku ze stosowanymi w roztworze LiBr inhibitorami korozji (najczęściej jest to molibdenian litu – Li_2MoO_4) należy zwrócić szczególną uwagę na maksymalną dopuszczalną temperaturę roztworu, która nie może przekroczyć 165°C . W elektrociepłowniach stosowana jest głównie para przegrzana o temperaturze znacząco przekraczającej 185°C , co oznacza, że para zasilająca powinna zostać wcześniej odpowiednio przygotowana. W wypadku ciągłego zasilania układu APC temperaturą wyższą od 185°C może dojść do zużycia inhibitora i nieprawidłowej pracy urządzenia.

Modernizacja systemu produkującego w skojarzeniu energię elektryczną i ciepło (elektrociepłowni) bądź tylko energię elektryczną (elektrowni) przy pomocy instalacji absorpcyjnej pompy ciepła, pracującej na potrzeby miejskiej sieci ciepłowniczej, jest rozwiązaniem bardzo popularnym na świecie. W Azji, gdzie rozwój systemów ciepłowniczych jest najbardziej dynamiczny, nowe elektrociepłownie są standardowo wyposażane w system odzysku ciepła skraplania pary w celu maksymalizacji sprawności układu:

- Elektrociepłownia Guoyang New Energy Nr 3 (Chiny) wykorzystuje zestaw sześciu pomp ciepła o mocy 30 MW każda (sumarycznie 180 MW). 72 MW ciepła odzyskiwane są z układu chłodzenia wymiennika kondensacyjnego;
- Elektrociepłownia Guodian Datong Nr 2 (Chiny) wykorzystuje zestaw dziesięciu pomp o mocy 35 MW każda (sumarycznie 350 MW). 140 MW ciepła odzyskiwane jest z ciepła skraplania pary wodnej układu turbinowego;
- Elektrociepłownia Datang Taiyuan Nr 2 (Chiny) wykorzystuje zestaw czterech pomp o mocy 95,5 MW każda (sumarycznie 382 MW). 163 MW są odzyskiwane z ciepła kondensacji pary wodnej za układem turbinowym;
- Podobnie elektrociepłownia Gansu Jinchuan Group Nr 2 (Chiny) wykorzystuje zestaw dwóch pomp ciepła o mocy 25 MW każda (sumarycznie 75 MW). 30,4 MW ciepła pochodzi z odbioru ciepła skraplania pary wodnej za układem turbinowym.

Na rysunku 6. zaprezentowano zdjęcie przykładowego systemu absorpcyjnej pompy ciepła o mocy 30 MW opartego na pompie ciepła SL Eco Energy Systems.



Rys. 6. Absorpcyjna pompa ciepła SL Eco Energy Systems o mocy 30 MW zasilana parą, pracująca na potrzeby sieci ciepłowniczej

1 MW mocy ciepłowniczej wraz z niezbędną infrastrukturą to wydatek rządu 300 000 zł dla kotłowni gazowej, 800 000 zł dla absorpcyjnej pompy ciepła i 1 800 000 zł dla sprężarkowej pompy ciepła

Podsumowanie

Krajowe warunki klimatyczne w połączeniu z działaniami mającymi na celu odzysk ciepła nieużytecznego i odpadowego oraz zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w zaspokajaniu potrzeb kraju prowadzą wprost do intensyfikacji zainteresowania zaawansowanymi układami konwersji ciepła. W centrum uwagi znajdują się systemy pomp ciepła umożliwiające efektywne i ekonomiczne odzysk ciepła oraz jego transfer do temperatury wystarczającej do samodzielnego zasilania sieci ciepłowniczej przez większą część roku.

Szczególne miejsce, ze względu na parametry eksploatacyjne oraz inwestycyjne, zajmują tutaj absorpcyjne pompy ciepła. Umożliwiają odzysk ciepła o stosunkowo niskiej temperaturze, dochodzącej do 20°C , i produkcję ciepła na potrzeby sieci ciepłowniczej o temperaturze do 95°C , przy jednocześnie stosunkowo niskich nakładach inwestycyjnych (1 MW mocy ciepłowniczej wraz z niezbędną infrastrukturą to wydatek rządu 300 000 zł dla kotłowni gazowej, 800 000 zł dla absorpcyjnej pompy ciepła i 1 800 000 zł dla sprężarkowej pompy ciepła). Umożliwiają jednocześnie zwiększenie mocy istniejących ciepłowni geotermalnych bądź produkcję ciepła o parametrze ciepłowniczym z wykorzystaniem ciepła Ziemi, jak dotąd niebranego pod uwagę do takich zastosowań. Dodatkowo, dzięki możliwości implementacji w konwencjonalnych systemach wytwórczych, przyczyniają się do poprawy sprawności wytwarzania, a co za tym idzie – do ograniczenia emisji szkodliwych substancji do atmosfery. ■

O AUTORZE

dr inż. Marcin MALICKI – dyrektor ds. technologii i kierownik naukowy projektów badawczo-rozwojowych w New Energy Transfer, ekspert Komisji Europejskiej i Innovation Fund Republiki Serbii, autor patentów i publikacji w dziedzinie efektywności energetycznej

