

Zastosowanie technologii sorpcyjnych w spalarniach odpadów

Marcin Malicki

Proces termicznej utylizacji odpadów umożliwia odzyskiwanie ciepła zarówno w postaci wysokotemperaturowej, jak i niskotemperaturowej. Źródła ciepła o niskiej temperaturze dotychczas były jednak pomijane w procesach odzyskiwania energii użytecznej. Dopiero rozwój i dostępność na rynku krajowym technologii sorpcyjnych zachęcił do ich efektywnego wykorzystywania. Przyjrzyjmy się, jakie konkretnie rozwiązania mogą być wówczas brane pod uwagę.

Spadająca dynamika poprawy efektywności energetycznej wskazuje na wyczerpywanie się możliwości bezpośredniego odzysku energii i wykorzystywania jej bez konwersji. Źródła ciepła wysokotemperaturowego umożliwiające produkcję energii elektrycznej zostały już w instalacjach rozpoznane i wykorzystane. Wyzwaniem pozostaje cały czas korelacja produkcji energii z jej odbiorem, wydaje się jednak, że dzięki technikom magazynowania energii ten problem zostanie dość szybko rozwiązany.

W naszym kraju od wielu lat eksploatowane są układy termicznego unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych. W ostatnich latach tę grupę rozszerzono o duże spalarnie odpadów komunalnych, z których część już zostało wybudowanych, a część zostanie skończonych w najbliższych latach. Proces termicznej utylizacji odpadów, zarówno niebezpiecznych, jak i komunalnych, umożliwia odzyskiwanie ciepła w postaci wysokotemperaturowej oraz niskotemperaturowej. Dotychczas ciepło było odzyskiwane głównie z obszarów wysokotemperaturowych, ponieważ dawało to możliwość jego efektywnej zamiany na parę bądź energię elektryczną, która mogła zostać spożytkowana na miejscu lub sprzedana do sieci elektroenergetycznej, znacząco poprawiając wskaźniki energetyczne czy finansowe eksploatowanej instalacji. Popularnym rozwiązaniem było także wykorzystywanie ciepła wysokotemperaturowego do celów grzewczych, choć ograniczało to możliwość jego użycia i osiągnięcia wzrostu sprawności procesu tylko do okresu zimowego. Jeśli natomiast chodzi o źródła ciepła o niskiej temperaturze, to ze względu na brak

komercyjnie dostępnych technologii oraz niższe wymagania dotyczące efektywności energetycznej całego procesu, były one pomijane. Sytuacja zmieniła się w ostatnich latach wraz z lawinowym rozwojem technologii sorpcyjnych oraz istotnym zwiększeniem ich dostępności na rynku krajowym. Aktualnie komercyjnie dostępne rozwiązania pozwalają efektywnie odzyskiwać ciepło niskotemperaturowe zarówno na potrzeby produkcji ciepła, jak i zimna. Poniżej przedstawiam możliwe do zastosowania technologie sorpcyjne, które mają na celu odzysk ciepła niskotemperaturowego do celów produkcji energii użytecznej.

Trójzłożowa chłodziarka adsorpcyjna

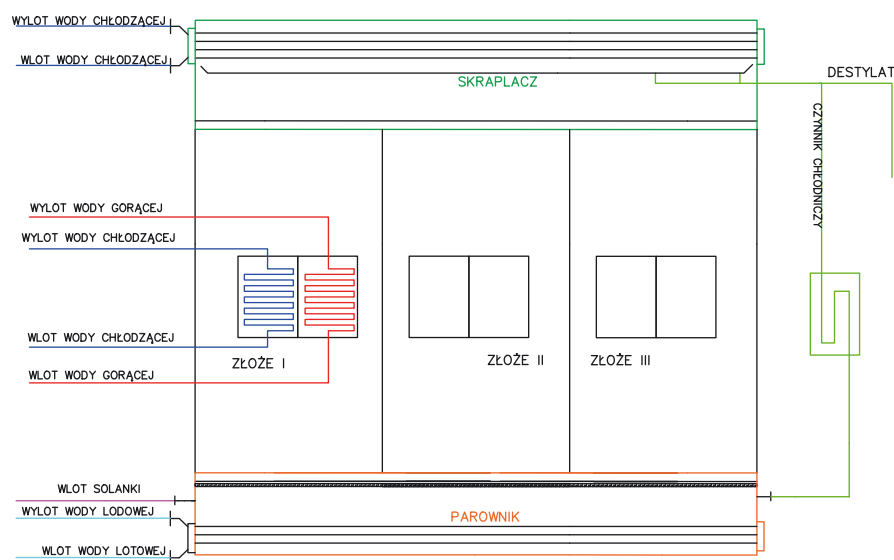
Chłodziarka adsorpcyjna, w szczególności oparta na wodnym roztworze bromku litu, jest technologią chłodniczą znaną od wielu dekad. W tego typu układzie energia jest doprowadzana w postaci ciepła pochodzącego:

- ze spalania paliwa, np. gazu, biogazu, oleju;
- z ciepłej wody, np. z sieci ciepłowniczej, jako ciepło nieużyteczne z urządzenia kogeneracyjnego bądź procesu technologicznego, z kolektorów słonecznych;
- z pary, np. para nieużyteczna z procesów technologicznych albo produkowana specjalnie na potrzeby zasilania urządzenia;
- z podgrzewu przy wykorzystaniu energii elektrycznej, np. za pomocą grzałki.

Chłodzoną czynnikami najczęściej jest woda, bądź jej niezamarzająca mieszanina, powietrze

lub inny czynnik pośredniczący w wymianie ciepła. Adsorpcyjny agregat chłodniczy działa na zasadzie wykorzystania efektu adsorpcji (pochłaniania czynnika chłodniczego) i desorpcji (wydzielania czynnika chłodniczego) z roztworu. Wrznięcie czynnika chłodniczego pochłania ciepło, zapewniając użyteczny efekt chłodzenia. Układ absorbera i desorbera w agregatach adsorpcyjnych nazywany jest sprężarką chemiczną i odpowiada funkcjonalnością sprężarce zasilanej energią elektryczną w konwencjonalnych agregatach chłodniczych. Istotny jest tutaj fakt, że im wyższa temperatura ciepła zasilającego, tym sprawność produkcji chłodu, definiowana jako współczynnik COP (*Coefficient of Performance*), będący stosunkiem użytecznego efektu chłodzenia do energii wprowadzanej w postaci paliwa, jest wyższa. Aktualnie komercyjnie dostępne urządzenia, gdy są zasilane ciepłem o temperaturze wyższej niż 200°C, mogą osiągnąć COP = 1,7. Jeżeli temperatura ciepła wynosi około 150°C, COP = 1,4, a gdy 80°C – COP jest już na poziomie 0,8. Niestety, temperatura 80°C jest temperaturą graniczną jeśli chodzi o eksploatację agregatów adsorpcyjnych, więc bardzo duże strumienie ciepła niskotemperaturowego pozostają więc niewykorzystane. Rozwiązaniem tego problemu są trójzłożowe chłodziarki adsorpcyjne, które umożliwiają efektywną produkcję chłodu przy zasilaniu ciepłem o temperaturze tak niskiej jak 60°C.

Jak przebiegają kolejne procesy w trójzłożowej chłodziarce adsorpcyjnej? Działanie takiego urządzenia bazuje na właściwościach higroskopijnych stałego sorbentu (substancji



1. Schemat komercyjnie dostępnej trójzłożowej chłodziarki adsorpcyjnej z funkcją odsalania NETI®

cja nietoksyczna). Sorbent naprzemiennie jest nasycany parą wodną i osuszany. Za sprawą bardzo niskiego ciśnienia absolutnego, jakie panuje w parowniku, czynnik chłodniczy odparowuje w stosunkowo niskiej temperaturze – dzięki temu możliwe jest uzyskanie użytecznego efektu chłodniczego. Kolejne procesy przebiegają następująco:

- obieg wody lodowej zasilającej parownik schładza się poprzez oddanie ciepła na potrzeby odparowania czynnika chłodniczego, który został wcześniej skroplony w skraplaczu. Parownik chłodziarki adsorpcyjnej może być również wykorzystany do odsalania. Gdy zostanie uzupełniony zanieczyszczoną lub zasoloną wodą, w wyniku pobrania ciepła z obiegu wody lodowej, dojdzie do odparowania destylatu z produktu wsadowego (woda morska, woda rzeczna, woda zanieczyszczona) i zagęszczenia „solanki” w dolnej sekcji parownika. W tym przypadku mamy do czynienia z jednoczesną produkcją chłodu i wody odsolonej (destylowanej), co jest istotną zaletą tego rodzaju urządzeń;
- pary czynnika chłodniczego powstałe w parowniku trafiają następnie do złożeń adsorpcyjnych, pełniących rolę „sprężarki chemicznej”. Złoża te wypełnione są silnie higroskopijnym sorbentem, pochłaniającym parę wodną za sprawą sił elektrostatycznych i wiązań van der Waals’a. Każde ze złożeń jest nasycane parą powstałą w parowniku indywidualnie. Z uwagi na fakt, że proces adsorpcji (pochłaniania par przez złożo) jest procesem egzotermicznym, koniecz-

ne jest odprowadzanie produkowanego ciepła, a co za tym idzie – chłodzenie złożeń;

- po fazie adsorpcji złożo zostaje odseparowane od parownika oraz skraplacza i następuje doprowadzenie ciepła w celu podniesienia ciśnienia panującego w złożu do ciśnienia panującego w skraplaczu;
- po zrównoważeniu wartości ciśnienia pary skumulowane w żelu krzemionkowym zostają zdesorbowane i trafiają do skraplacza, gdzie w wyniku schłodzenia i odbioru ciepła kondensacji zostają skroplone;
- skropliny zgromadzone w dolnej sekcji skraplacza transportowane są z powrotem do parownika za pośrednictwem elementu dławiącego, celem utrzymywania różnicy ciśnienia (w skraplaczu i parowniku), co zamyka cykl chłodzenia.

Rysunek 1 przedstawia schemat trójzłożowego agregatu adsorpcyjnego umożliwiającego produkcję chłodu do celów technologicznych i klimatyzacyjnych.

Zalety. Istotną zaletą trójzłożowych agregatów adsorpcyjnych jest możliwość produkcji chłodu i wody odsolonej w sposób ciągły, bowiem każde ze złożeń znajduje się w innej fazie cyklu, tak więc przejścia między fazą adsorpcji, podgrzewania, desorpcji i schładzania są skonfigurowane w taki sposób, aby parownik chłodził i odsalał w sposób jednakowy pod względem parametrów pracy dla każdej chwili cyklu. Obecnie dostępne na rynku urządzenia są w stanie produkować chłód bądź wodę odsoloną przy

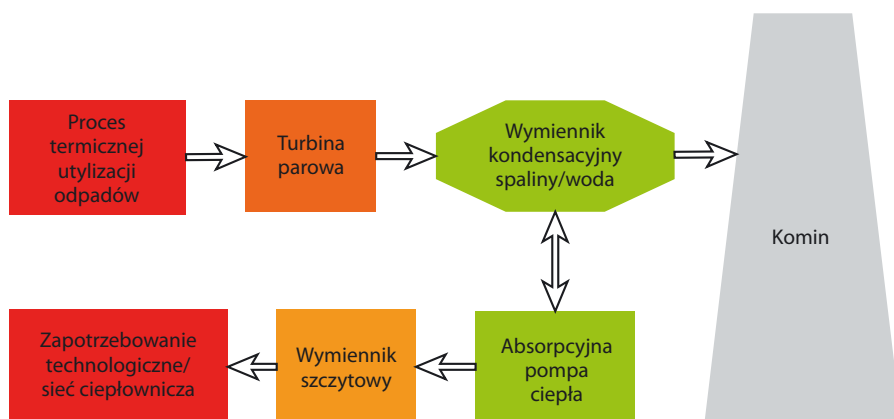
zasilaniu ich wodą ciepłą przy $COP = 0,75$. W stosunku do agregatów absorpcyjnych są one także wolne od ryzyka krystalizacji, co znacząco ułatwia konfigurację i eksploatację systemu.

Absorpcyjna pompa ciepła

Chłodziarka absorpcyjna oparta na wodnym roztworze bromku litu jest technologią chłodniczą znaną od wielu dekad, jednak jej zastosowanie nie do produkcji chłodu, a do produkcji ciepła użytkowego, jest stosunkowo nowe. Tego rodzaju urządzenia, oparte na mieszaninie bromku litu i wody lub wody i amoniaku, stosowane są w wielu gałęziach przemysłu energochłonnego oraz energetyce do poprawy efektywności energetycznej procesów.

Układ absorpcyjnej pompy ciepła wykorzystuje ciepło w postaci nieużytecznej (tzw. dolne źródło) i za pomocą pary bądź gorącej wody o temperaturze wyższej niż $100^{\circ}C$ (tzw. górne źródło), używanej jako energia zasilająca, zamienia go na ciepło użytkowe o temperaturze do $95^{\circ}C$. Czynnikiem roboczym jest wodny roztwór bromku litu ($LiBr$) – nietoksyczna sól, a chłodniczym woda. Działanie absorpcyjnej pompy ciepła zostało szczegółowo opisane w poprzednim wydaniu „Polskiego Instalatora” („PI” 1/2017, „Zastosowanie absorpcyjnych pomp ciepła w instalacjach geotermalnych”). Przypomnę, że urządzenie to, oprócz 60% dostarczonej energii w postaci użytkowej, odzyskuje dodatkowo 40% energii z ciepła odpadowego, aby wyprodukować 100% energii możliwej do wykorzystania na cele ciepłownicze bądź technologiczne (dane dla warunków krajowych). Możliwa do uzyskania moc pompy ciepła jest zatem wprost proporcjonalna do możliwej do uzyskania ilości energii zasilającej oraz przeznaczonej do odzyskania. Istotną zaletą absorpcyjnych pomp ciepła jest możliwość uzyskania wody o temperaturze dochodzącej do $95^{\circ}C$. Kolejną jest to, że jedynym ograniczeniem w zakresie doboru mocy tych urządzeń jest ewentualnie logistyka dostawy poszczególnych elementów. Na rynku dostępne są urządzenia o mocy ciepłowniczej od 1 MW do 38 MW dostarczane jako pojedyncze elementy. Dzięki możliwości łączenia ich w bloki, ograniczenie wielkościowe praktycznie nie występuje.

Układy absorpcyjnych pomp ciepła umożliwiają odzysk ciepła z dolnego źródła o bardzo niskiej temperaturze – nawet około $20^{\circ}C$. Znacząco zwiększa to potencjał energetyczny instalacji do termicznej utylizacji odpadów.



2. Przykładowe zastosowanie absorpcyjnej pompy ciepła do poprawy efektywności energetycznej zakładu termicznej utylizacji odpadów

Ciekawe zastosowania absorpcyjnych pomp ciepła

Absorpcyjne pompy ciepła znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie pojawia się zapotrzebowanie na ciepło o temperaturze nieprzekraczającej 95°C i gdzie istnieje możliwość odzyskania ciepła nieużytecznego. Oprócz popularnego na świecie rozwiązania, które pozwala odzyskiwać ciepło skraplania pary wodnej z wody chłodzącej skraplacz turbiny parowej, w warunkach krajowych sprawdzają się także inne metody odzysku ciepła nieużytecznego.

Ciekawym rozwiązaniem, które zostało już wdrożone w Polsce, jest odzysk ciepła skraplania wilgoci zawartej w spalinach pochodzących z procesu termicznej utylizacji odpadów komunalnych. Spaliny te, po procesie spalania oraz oczyszczania,

mimo niskiej temperatury, zwykle nieprzekraczającej 50°C, mają jeszcze znaczące ilości energii. Energii tej nie można wykorzystać bezpośrednio na potrzeby ciepłownicze ze względu na zbyt niską temperaturę spalin, ale może ona stanowić źródło ciepła nieużytecznego (dolne źródło) dla układu absorpcyjnych pomp ciepła. Przy tego rodzaju zastosowaniach układ z absorpcyjnymi pompami ciepła należy wyposażać w dodatkowy wymiennik ciepła, który w sposób przeponowy bądź bezprzeponowy będzie odzyskiwał ciepło skraplania wilgoci zawartej w spalinach. Tak zaprojektowany system może pełnić funkcję podstawowego źródła ciepła w sezonie letnim oraz służyć do wstępnego podgrzewu powracającej wody sieciowej w okresie zimowym, podnosząc znacząco przez cały rok efektywność energetyczną instalacji termicznego przekształcania odpadów.

W obu wypadkach praca układu w ciągu całego roku odbywa się z mocą nominalną. Istotny jest również wzrost sprawności wytwarzania energii, wynikający z odzysku znaczącej ilości energii traktowanej dotychczas jako ciepło odpadowe, wyprowadzane wraz ze spalinami na zewnątrz układu. Przykładowy schemat takiego układu jest przedstawiony na rys. 2.

Dla omawianego przypadku, opartego na doświadczeniach krajowych, odzysk ciepła z kondensacji wilgoci w spalinach może stanowić 40% mocy użytecznej absorpcyjnej pompy ciepła, co daje możliwość zwiększenia mocy elektrociepłowni o około 31% bez zwiększenia ilości paliwa potrzebnego do produkcji energii elektrycznej i ciepła. Tego rodzaju układy są już stosowane zarówno u nas w kraju, jak i m.in. w Skandynawii. Dzięki odzyskowi energii, która wcześniej była tracona wraz ze spalinami, uzyskujemy także dodatkową korzyść ekonomiczną i środowiskową – np. w układzie o mocy ciepłowniczej 10 MW ograniczamy roczne zużycie gazu ziemnego o ponad 3 200 000 Nm³, a więc istotnie ograniczamy także emisję związaną z pozyskiwaniem energii z tego paliwa. ■

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.

