

ENERGIA Z CIEPŁA ODPADOWEGO

Poprawa sprawności bloków energetycznych przy pomocy absorpcyjnych pomp ciepła

dr inż. Marcin Malicki
New Energy Transfer

Poprawa efektywności energetycznej jest uznawana za najtańszą metodę poprawy dostępności mocy i energii elektrycznej, cieplnej oraz chłodniczej. Kluczowym elementem działań prowadzących do poprawy efektywności energetycznej jest optymalizacja wykorzystania ciepła odpadowego w sposób umożliwiający zamianę go na energię użyteczną: ciepło o wyższej temperaturze, energię elektryczną czy chłód.



foto: 123rf

Spadająca dynamika poprawy efektywności energetycznej sugeruje, że wyczerpały się proste możliwości odzysku i wykorzystania energii, nieuwzględniające jej konwersji. Najprostsze obszary umożliwiające odzysk ciepła – wysokotemperaturowe źródła energii – zostały już w instalacjach technologicznych zinwentaryzowane i zoptymalizowane. Wyzwaniem pozostały źródła energii o niższej jakości – np. źródła ciepła niskotemperaturowego.

W kraju od wielu lat eksploatowane są układy rozdzielonego bądź skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. W ostatnich latach tę grupę rozszerzono także o duże spalarnie odpadów komunalnych – część już została wybudowana, część zostanie skończona w najbliższych miesiącach. Proces termicznej utylizacji odpadów, zarówno niebezpiecznych, jak i komunalnych, umożliwia odzyskiwanie ciepła w postaci wysokotemperaturowej, jak i niskotemperaturowej. Tak jak w przypadku konwencjonalnych elektrowni, w układach spalarni odpadów jak dotąd ciepło odzyskiwane było głównie z obszarów wysokotemperaturowych, dzięki możliwości jego efektywnej zamiany na parę i energię elektryczną oraz dalej na ciepło służące do celów grzewczych. To właśnie dzięki wykorzystaniu ciepła układy wytwórcze mogą osiągać wręcz wzorowe sprawności wytwarzania energii. Jak dotąd na szeroką skalę nie zostały jednak wdrożone systemy odzysku ciepła niskotemperaturowego np. ze skraplania wilgoci w spalinach bądź skraplania

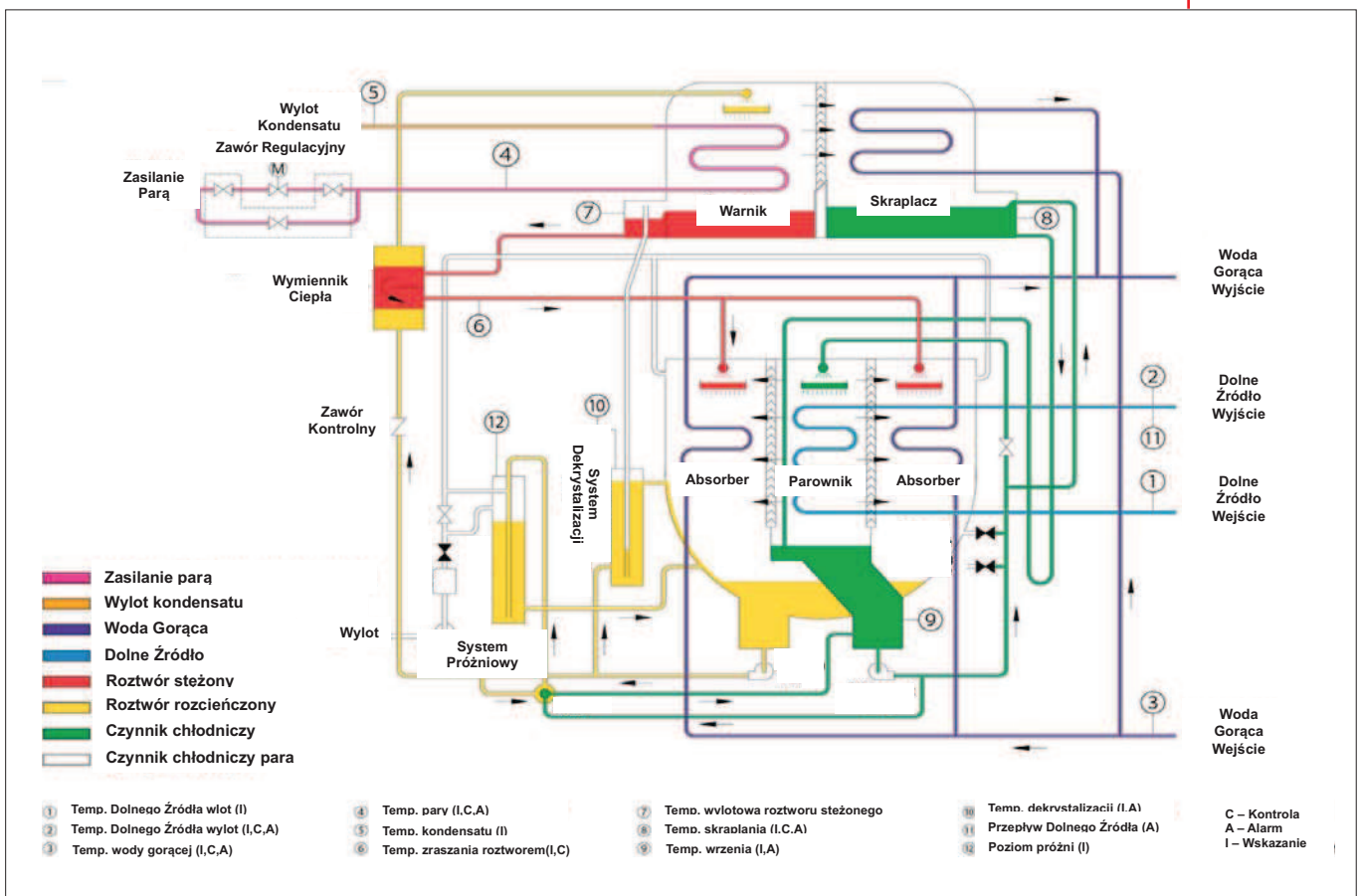
parą wodną przed zasileniem układu regeneracji kondensatu parowego.

Ciepło możliwe do odzyskania ze skraplania wilgoci w spalinach, w zależności od użytego paliwa oraz zastosowanego układu oczyszczania spalin, może stanowić od 6% do nawet 25% możliwej do odzyskania energii paliwa, która jak dotąd odprowadzana jest do atmosfery. Dla układów wykorzystujących skraplacze chłodzone wodą, ilość niskotemperaturowej energii możliwej do odzyskania niejednokrotnie przekracza ilość produkowanej energii elektrycznej. Doskonałym rozwiązaniem umożliwiającym poprawę efektywności energetycznej wytwarzania energii jest odzyskanie niskotemperaturowych strumieni energii i zamiana ich na ciepło o temperaturze umożliwiającej jego efektywne wykorzystanie.

Absorpcyjna pompa ciepła (APC)

Chłodziarka absorpcyjna oparta na wodnym roztworze bromku litu jest technologią chłodniczą znaną od wielu lat, jednak zastosowanie urządzeń sorpcyjnych nie do produkcji chłodu, a do wytwarzania ciepła użytecznego jest stosunkowo nowe. Tego rodzaju urządzenia, oparte na mieszaninie bromku litu i wody bądź wody i amoniaku, stosowane są w wielu gałęziach przemysłu energochłonnego oraz energetyce do poprawy efektywności energetycznej procesów. Układ absorpcyjnej pompy ciepła wykorzystującej ciepło w postaci nieużytecznej (tzw. dolne źródło)

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



i przy pomocy pary bądź gorącej wody o temperaturze wyższej niż 100°C (tzw. górne źródło), używanej jako energia zasilająca, zamieniają go na ciepło użyteczne o temperaturze do 95°C. W urządzeniu czynnikiem roboczym jest wodny roztwór bromku litu (LiBr) – nietoksyczna sól, a czynnikiem chłodniczym woda. Zasadę działania obiegu przedstawia rysunek 1. W generatorze, kosztem dostarczonego ciepła, np.

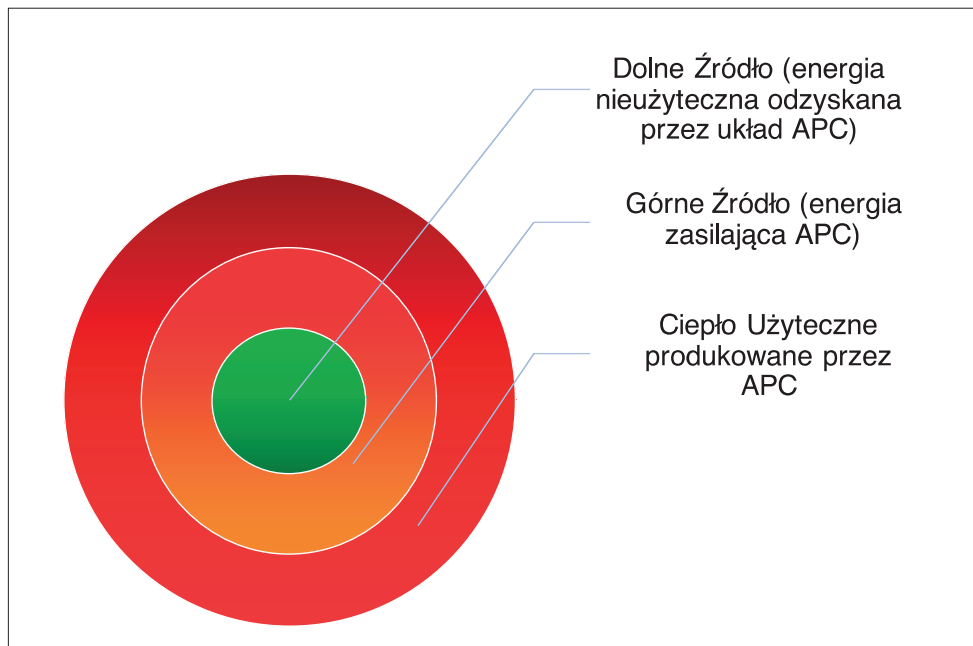
zasilanie elektryczne systemu automatyki i pomp obiegowych o mocy około 0,1% mocy cieplnej urządzenia.

Urządzenie poza 60% dostarczonej energii w postaci użytecznej odzyskuje dodatkowo 40% energii z ciepła odpadowego, aby wyprodukować 100% energii możliwej do wykorzystania na cele ciepłownicze bądź technologiczne. Dane te dotyczą warunków krajowych w zastosowaniach energetycznych. Dla rozwiązań np. geotermalnych sprawność absorpcyjnej pompy ciepła może sięgać nawet 240%. Oznacza to także, że możliwa do uzyskania moc pompy ciepła jest wprost proporcjonalna do możliwej do uzyskania ilości energii zasilającej oraz przeznaczonej do odzyskania. Na rysunku 2 zaprezentowano przykładowe składowe sprawności APC.

Istotną zaletą absorpcyjnych pomp ciepła jest możliwość uzyskania przy ich pomocy temperatura wody gorącej, dochodząca do 95°C. Układy APC 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 swoją konstrukcję, jedynymi ograniczeniami w zakresie mocy urządzeń są te związane z logistyką dostawy poszczególnych elementów. Na rynku dostępne są urządzenia o mocy cieplowniczej od 1 MW do 38 MW dostarczane jako pojedyncze elementy. Dzięki możliwości łączenia urządzeń w bloki ograniczenie wielkościowe praktycznie nie występuje. Same układy absorpcyjnych pomp ciepła umożliwiają odzysk ciepła z dolnego źródła o temperaturze tak niskiej jak 20°C, znacząco zwiększając możliwy potencjał energetyczny instalacji do termicznej utylizacji odpadów.

Zastosowania

W warunkach krajowych możemy poszczycić się wdrożeniem wysokoefektywnego rozwiązania będącego kombinacją niskotemperaturowego odzysku ciepła z absorpcyjną pompą ciepła o mocy 10 MW: odzysk ciepła skraplania wilgoci zawartej w spalinach pochodzących z procesu termicznej utylizacji odpadów komunalnych. Po procesie spalania oraz oczyszczania spalin, mimo niskiej temperatury, niejednokrotnie nieprzekraczającej 50°C, posiadają jeszcze znaczące ilości energii. Nie może ona zostać wykorzystana bezpośrednio na potrzeby ciepłownicze ze względu na zbyt niską temperaturę, może jednak stanowić źródło ciepła nieużytecznego (dolne źródło) dla układu



RYS. 2

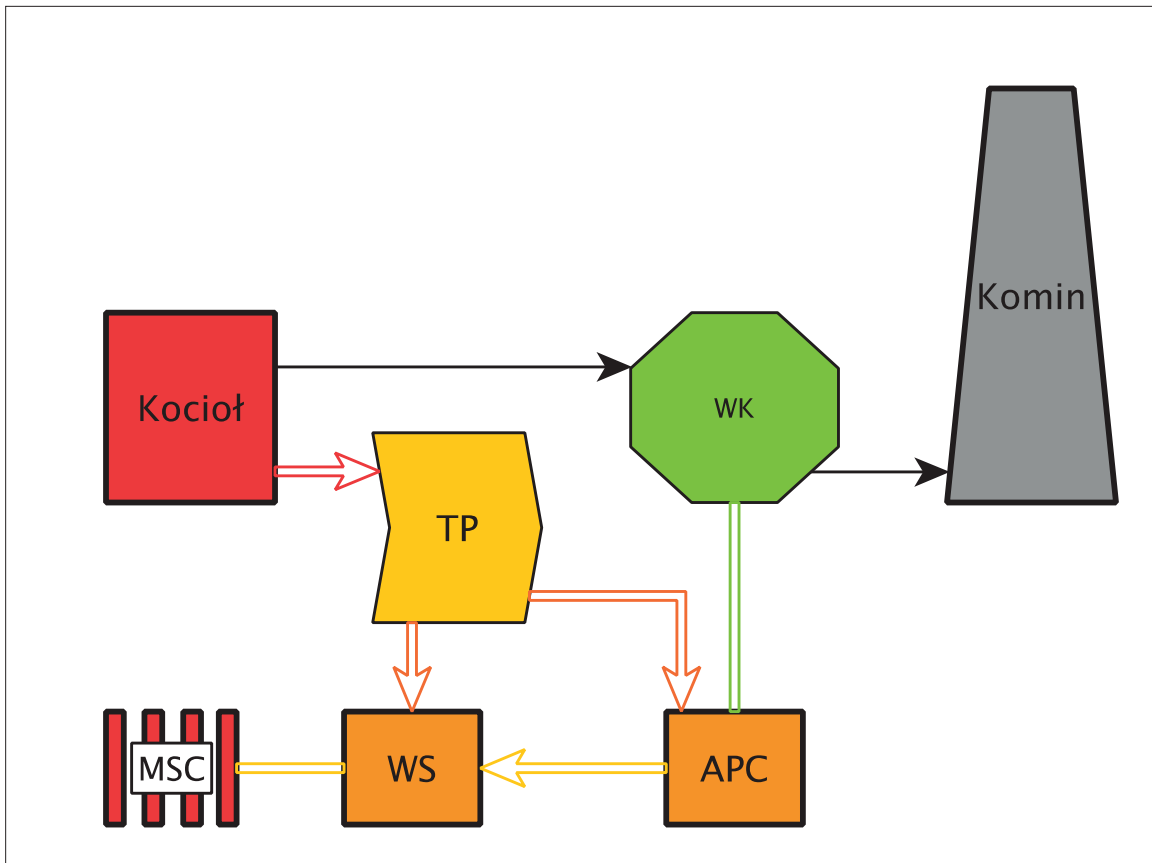
Składowe sprawności absorpcyjnej pompy ciepła eksploatowanej w warunkach krajowych systemów elektroenergetycznych

w postaci pary, gorącej wody bądź 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 skondensowana, 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.

Stężony roztwór pochłaniając parę, rozcieńcza się, a następnie przetłaczany jest przez pompę roztworu z powrotem do generatora, gdzie woda z roztworu zostaje odparowana, stężony roztwór zostaje przepompowany do absorbera i cykl powtarza się. Do prawidłowego działania APC należy dostarczyć przede wszystkim ciepło w dwóch postaciach – pary bądź gorącej wody dla generatora i ciepła niskotemperaturowego dla parowacza. Należy także zapewnić

RYS. 3

Przykładowe zastosowanie APC do poprawy efektywności energetycznej zakładu termicznej utylizacji odpadów. APC – Absorpcyjna Pompa Ciepła, WK – Wymiennik Kondensacyjny, TP – Turbina Parowa, WS – Wymiennik Szczytowy, MSC – Miejska Sieć Ciepłownicza



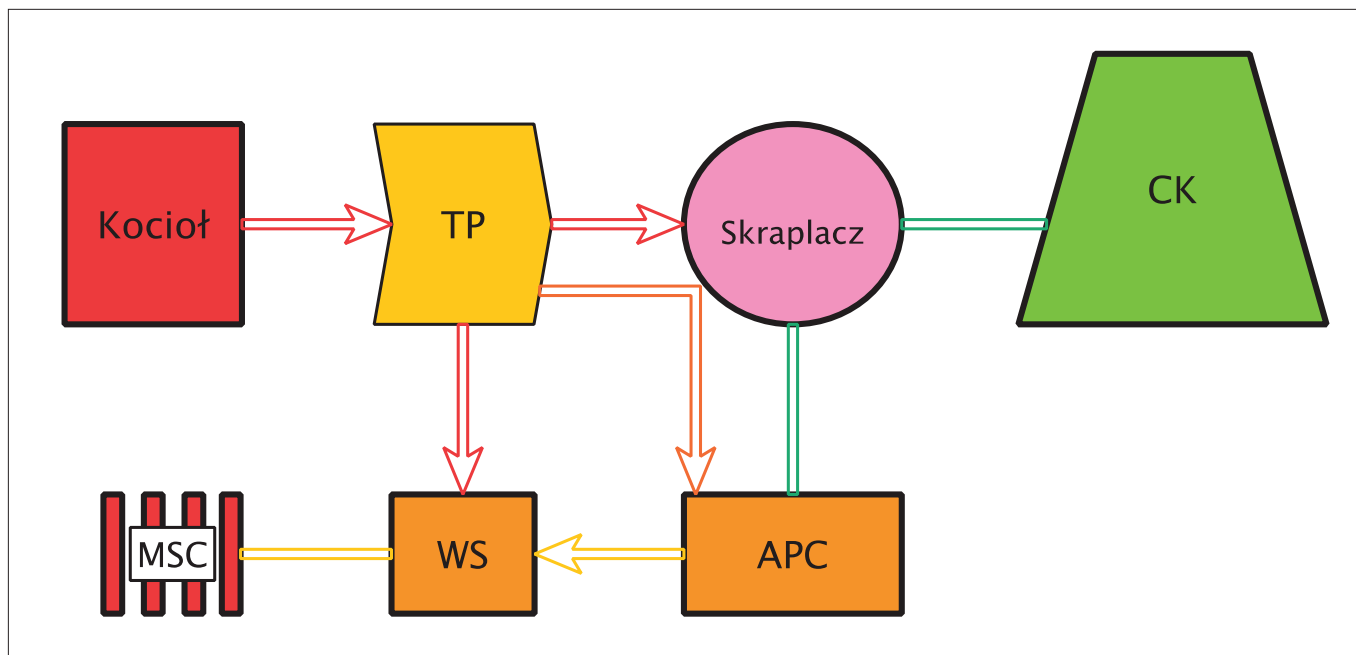
absorpcyjnej pompy ciepła. W wypadku rozważania tego rodzaju zastosowania należy wyposażyć układ w dodatkowy wymiennik ciepła, który w sposób przeponowy bądź bezprzeponowy będzie odzyskiwał ciepło skraplania wilgoci zawartej w spalinach. Tak zaprojektowany system, w warunkach krajowych, może pełnić funkcję podstawowego źródła ciepła w sezonie letnim oraz wstępnego podgrzewu powracającej wody sieciowej w okresie zimowym, przez cały rok znacząco podnosząc efektywność energetyczną instalacji termicznego przekształcania odpadów. W obu wypadkach praca układu w ciągu całego roku odbywa się z mocą nominalną. Istotny jest tutaj fakt wzrostu sprawności wytwarzania energii ze względu na odzysk znaczących ilości energii traktowanej jak dotąd jako ciepło odpadowe, wyprowadzane wraz ze spalinami na zewnątrz układu.

Na rysunku 3 zaprezentowano przykładowy schemat układu. Dla omawianego przypadku, opartego na doświadczeniach krajowych, odzysk ciepła z kondensacji wilgoci w spalinach może stanowić 40% mocy użytecznej APC, co oznacza możliwość zwiększenia mocy elektrociepłowni o ok. 31% bez zwiększenia ilości paliwa potrzebnego do produkcji energii elektrycznej i ciepła. Tego rodzaju układy stosowane są już w kraju oraz bardzo powszechnie w Skandynawii.

Dzięki odzyskowi energii, która jak dotąd była tracona wraz ze spalinami, uzyskujemy także dodatkową korzyść ekonomiczną i środowiskową – dla układu

o mocy ciepłowniczej 10 MW ograniczamy zużycie paliwa o ponad 3 200 000 Nm³ gazu ziemnego rocznie, bądź innego wykorzystywanego w zamienianym systemie paliwa, a więc także ograniczamy emisje związane z pozyskiwaniem energii z tego paliwa.

Innym wykorzystaniem absorpcyjnej pompy ciepła w systemie energetycznym jest odzysk ciepła skraplania pary wodnej, która kierowana jest na skraplacz. Źródłem zasilania APC (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 np. miejskiej 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, 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 (górne źródło). Należy zaznaczyć, że w wypadku


RYS. 4

Przykładowe zastosowanie APC w elektrociepłowni (odzysk ciepła skraplania pary ze skraplacza).
 APC – Absorpcyjna Pompa Ciepła,
 TP – Turbina Parowa,
 CK – Chłodnia Kominowa,
 WS – Wymiennik Szczytowy,
 MSC – Miejska Sieć Ciepłownicza

takiego zlokalizowania pompy ciepła w systemie technologicznym elektrociepłowni, poza odzyskaniem znaczących ilości energii – jak dotąd bezpowrotnie traconej, istotnie zmniejsza się pracę urządzeń pomocniczych 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 ok. 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 ok. 27 GWh energii elektrycznej rocznie.

Na rysunku 4 zaprezentowano przykładowe zastosowanie APC w procesie technologicznym elektrociepłowni.

Znana praktyka

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 modernizacją bardzo popularną 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 6 pomp ciepła o mocy 30 MW każda (sumarycznie 180 MW). 72 MW ciepła odzyskiwane są z układu chłodzenia wymiennika kondensacyjnego. Elektrociepłownia



Chłodziarka absorpcyjna oparta na wodnym roztworze bromku litu jest technologią chłodniczą znaną od wielu lat, jednak zastosowanie urządzeń sorpcyjnych nie do produkcji chłodu, a do produkcji ciepła użytecznego jest stosunkowo nowe

Guodian Datong Nr 2 (Chiny) wykorzystuje zestaw 10 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 4 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 2 pomp ciepła o mocy 25 MW każda (sumarycznie 75 MW). 30,4 MW ciepła pochodzi z odbioru ciepła skraplania pary wodnej za układem turbinowym.